

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Теплоенергетичний факультет

Кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____/проф. В.О.Туз/
“ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 144 Теплоенергетика

спеціалізації Теплофізика

на тему: Вплив орієнтації в просторі алюмінієвих теплових труб на граничні теплові потоки.

Виконала: студентка VI курсу, групи ТФ-61м
Розум Тетяна Володимирівна

(підпис)

(прізвище ім'я, по батькові)

Науковий керівник к.т.н., доц., Шевель Є.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультанти:

з економічних питань

(назва розділу)

к.т.н., доц. Пермінова С.О.

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

з питань охорони праці

(назва розділу)

к.т.н., доц. Каштанов С.Ф.

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

к.т.н., Недбайло О.М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України

**«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) Теплоенергетичний

Кафедра Атомних електричних станцій і інженерної теплофізики

Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність 144 Теплоенергетика

Спеціалізація Теплофізика

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

/В.О.Туз/

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ _____ ” 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Розум Тетяні Володимирівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Вплив орієнтації в просторі алюмінієвих теплових труб на граничні теплові потоки

науковий керівник дисертації Шевель Є.В., к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «___» _____ 2018 р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації "30" квітня 2018 р.

3. Об'єкт дослідження Обмеження теплопередаючої здатності в алюмінієвих теплових трубах та процеси теплообміну

4. Предмет дослідження Вплив орієнтації в просторі на інтенсивність теплообміну в теплових трубах

5. Перелік питань, які потрібно розробити а) основна частина

зробити літературний огляд по темі роботи, розробити експериментальну установку та методику проведення дослідження, провести дослід, обробити та узагальнити дані.

б) стартап проект

економічна доцільність роботи

в) охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях
технічні рішення та організаційні заходи щодо безпеки експлуатації

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу

1 – СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

2 – ДЕТАЛЮВАННЯ

3-8 – РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

7. Орієнтовний перелік публікацій

1. ВПЛИВ ОРІЄНТАЦІЇ В ПРОСТОРІ НА ГРАНИЧНІ ТЕПЛОВІ ПОТОКИ АЛЮМІНІЄВИХ ТЕПЛОВИХ ТРУБАХ.

« СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ НАУКОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ» МАТЕРІАЛИ XV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ, АСПІРАНТІВ, МАГІСТРІВ, СТУДЕНТІВ Том 1, м. Київ 2017 року

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛОВОЛОКНИСТИХ СТРУКТУР, « СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ НАУКОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ» МАТЕРІАЛИ XV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ, АСПІРАНТІВ, МАГІСТРІВ, СТУДЕНТІВ Том 1, м. Київ 2016 року

3. ВПЛИВ ОРІЄНТАЦІЇ В ПРОСТОРІ АЛЮМІНІЄВИХ ТЕПЛОВИХ ТРУБ НА ГРАНИЧНІ ТЕПЛОВІ ПОТОКИ « СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ НАУКОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ» МАТЕРІАЛИ XV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ, АСПІРАНТІВ, МАГІСТРІВ, СТУДЕНТІВ Том 1, м. Київ 2018 року

8. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
з питань охорони праці	к.т.н., доц. Кашистанов С.Ф.		
з економічних питань	к.п.н., доц. Пермінова С.О.		

9. Дата видачі завдання " 12 " березня 2018 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Літературний огляд	21.10.2016	
2	Створення експериментального стенду	25.04.2017	
3	Опис експериментальної установки	23.11.2017	
4	Методика проведення дослідження	06.11.2017	
5	Проведення експерименту	22.02.2018	
6	Аналіз експериментальних даних	11.04.2018	
7	Схема експериментального стенду. Залежності експериментальних даних. Плакати порівняння.	20.04.2018	
8	Підпис керівника магістерської дисертації	30.04.2018	
9	Проходження нормоконтролю	03.05-11.05.2018	
10	Попередній захист	14.05-16.05.2018	
11	Державний захист магістерської дисертації	21.05 - 31.05.2018	

Студент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

МР: 81с., рис. 21, табл. 10, джерел 21

Об'єкт дослідження – процеси теплообміну та обмеження теплопередаючої здатності в алюмінієвих теплових трубах.

Предмет дослідження – вплив в орієнтації в просторі на граничні теплові потоки у теплових трубах.

Мета роботи – дослідити та визначити вплив орієнтації в просторі на граничні потоки теплових труб.

Метод дослідження – експериментальний метод

ЕКСПЕРИМЕНТ, ТЕПЛОВІ ТРУБИ, АЛЮМІНІЄВІ ТЕПЛОВІ ТРУБИ, ГРАНИЧНІ ТЕПЛОВІ ПОТОКИ, ОРІЄНТАЦІЯ В ПРОСТОРИ, ВПЛИВ НА ОРІЄНТАЦІЮ.

ABSTRACT

MW: 81 p., fig. 21, tab. 10, 21 sources

Object study – heat transfer processes and limiting of heat transferability in aluminium heat pipes.

Subject of study – influence in the orientation in space on the boundary heat fluxes in the heat pipes.

The purpose – is to investigate and determine the influence of orientation in space on the boundary flows of heat pipes.

The method of research is an experimental method.

EXPERIMENT, HEAT PIPER, ALUMINUM HEAT PIPES, BOUNDARY THERMAL FLOWS, ORIENTATION IN SPACE, INFLUENCE ON ORIENTATION

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ	8
ВСТУП	10
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	12
1.1 Основні поняття і принцип роботи теплових труб	12
1.2 Класифікація теплових труб	14
1.3 Обмеження робочих параметрів теплової труби.....	17
1.4 Капілярне обмеження потужності, що передається.....	20
1.5 Звукова межа	21
1.6 Межа винесення.....	23
1.7 Межа кризи кипіння	23
1.8 Вплив орієнтації в просторі на ТТ	24
2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	27
2.1 Конструкції експериментальних теплових труб	27
2.2 Критерії вибору матеріалу корпусу ТТ та теплоносія.....	28
2.3. Система вакуумування та заправки ТТ	29
2.4 Опис експериментального стенду.....	31
2.5 Методика проведення експерименту.....	35
2.6. Оцінка похибок експерименту	37
3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	40
4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ.....	48
4.1 Опис ідеї проекту.....	48
4.2 Технологічний аудит ідеї.....	50
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	51
4.4. Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту	54
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	55
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	57

5.1 Технічні рішення та організаційні заходи щодо безпечної експлуатації засобів обчислювальної техніки при виконанні науково-дослідної роботи.....	57
5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії при виконанні науково-дослідної роботи.....	60
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	70
Додаток А Специфікації до складального кресленника.....	72
Додаток Б Технічне завдання на науково-дослідну роботу	75
Додаток В Лист впровадження	750

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ

Умовні позначення

F – коефіцієнт тертя;

L – довжина труби, м ;

P – тиск, Па;

S – площа, м^2

d – діаметр, м;

g – прискорення вільного падіння, $\text{кг} / \text{с}^2$;

t – температура, $^{\circ}\text{C}$

L – довжина ТТ, м;

r – радіус, м ;

δ – товщина, м;

γ – показний адіабати;

ρ – густина $\text{кг}/\text{м}^3$;

σ – коефіцієнт поверхневого натягу, $\text{Н}/\text{м}$;

μ – в'язкість, $\text{Па} \cdot \text{с}$

φ – кут нахилу теплової труби по відношенню до горизонту;

τ – час, с.

Скорочення

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

ВМ – витратомір;

СН – стабілізатор напруги;

ЛАТР – лабораторний автотрансформатор;

ПК – персональний комп'ютер;

ВТТ – високотемпературна теплова труба;

КТТ – криогенна теплова труба;

НТТ – низькотемпературна теплова труба;

СТТ – середньотемпературна теплова труба;

Т – трансформатор;

ТВТТ – високотемпературні теплові труби із тугоплавких матеріалів;

ТП – термopара;

ТТ – теплова труба

Індекси

ЗН – зона нагріву;

ЗТ – зона транспорту;

ЗК – зона конденсації;

в – витрати;

вн – внутрішній;

зов – зовнішній;

к – корпус;

кан – канавка;

с – капіляр;

h – глибина канавки;

l – рідина;

s – ширина канавки;

v – пара;

max- максимум;

min – мінімум;

⊥ – гідростатичний;

ВСТУП

Розвиток сучасної техніки передбачає значне підвищення продуктивності, економічності обладнання та технологічних процесів, безперервне зниження їх матеріало- та енергоємності, докорінне підвищення якості продукції, що випускається.

Важливими елементами сучасного виробництва є розробка, вдосконалення, реалізація та впровадження методів і пристроїв для ефективної передачі теплоти, забезпечення оптимального теплового стану різного устаткування, приладів і апаратів і до числа таких пристроїв відносяться теплові труби (ТТ). За останні роки інтерес до теплових труб, як високоефективних теплопередаючих пристроїв, неперервно зростає. До переваг ТТ можна віднести те, що вони мають просту конструкцію, виняткову маневреність в роботі, а також легкість регулювання.

На жаль широке впровадження ТТ гальмується відсутністю їх ефективних конструкцій із комплексом характеристик, які могли б дозволити реалізувати можливості цих приладів, а саме досягти високі теплопередаючі можливості при низькому термічному опорі. Протягом останніх десятиліть за кордоном та в нашій країні проводились досить великі та цілеспрямовані роботи з розробки та вдосконалення ТТ.

Існують десятки та сотні різноманітних типів ТТ, що відрізняються конструкційними властивостями, умовами роботи, габаритами, призначенням, функціональними можливостями та довгостроковістю. Важливим фактором у багатьох практичних застосуваннях є вплив орієнтації труби на її характеристики. Теплопередаюча здатність теплової труби, що працює в умовах, коли випарник розташований нижче конденсатора (термосифон або повернення конденсату самопливом), може виявитися на порядок вище, ніж у труби, що використовує гніт для повернення рідини в випарник з розташованого нижче його конденсатора.

У багатьох випадках гніт може виявитися недієздатним навіть при незначному нахилі теплової труби до горизонту, коли випарник виявляється розташованим

всього лише на кілька сантиметрів вище конденсатора. Природно, що вибір гноту частково базується на очікуваній орієнтації теплової труби в конкретних умовах.

Метою експерименту є визначити вплив орієнтацію труби в робочому положенні на граничні теплові потоки. В теплових трубах, а також і в алюмінієвих ТТ визначальною характеристикою є капілярні сили. Хоча вони і малочутливі до сил гравітації на процес переносу маси, однак має право на існування. Саме це і представляє великий інтерес для дослідження.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Основні поняття і принцип роботи теплових труб

Застосування теплових труб в техніці в останні роки набуває досить широкий розмах як і в нашій країні так і за кордоном.

В даний час є достатньо літератури по тепловим трубам але це статті, звіти, доповіді зарубіжних дослідників, які малодоступні для широкого круга читачів.

Існують десятки та сотні різноманітних типів ТТ, що відрізняються конструкційними властивостями, умовами роботи, габаритами, призначенням, функціональними можливостями та довгостроковістю.

Теплова труба по конструкції аналогічна термосифону, але в тепловій трубі на внутрішній стінці укріплений гніт, зроблений з декількох шарів тонкої сітки, і конденсат повертається у випарник під дією капілярних сил.

Теплові труби відносяться до класу теплопередаючих приладів, загальною ознакою яких є функціонування за принципом замкнутого випарно-конденсаційного циклу [1].

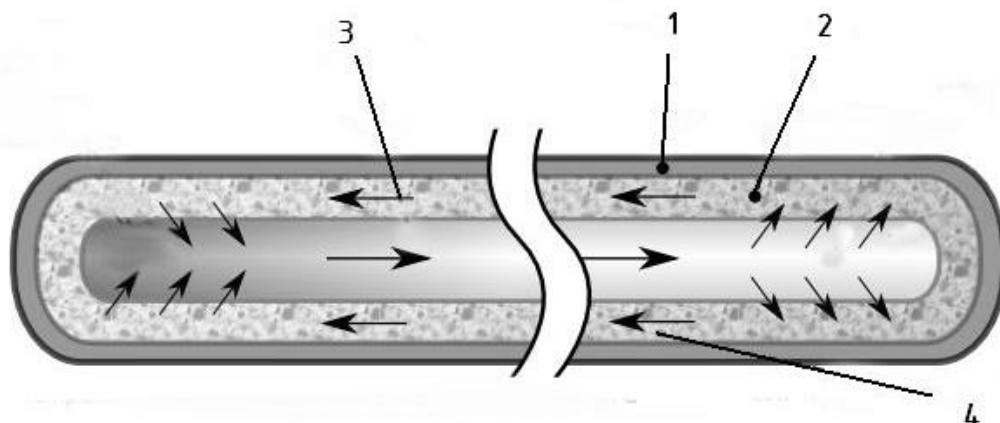
Теплова труба визначається як випарно-конденсаційний герметичний пристрій з використанням капілярних сил, що служить для передачі теплоти і працює по замкнутому циклу [2].

У найпростішому вигляді тепла труба представляє собою порожній герметичний, попередньо вакуумований, корпус. Внутрішня поверхня цього корпусу має капілярну структуру, що насичена рідким теплоносієм (рис.1.1). В якості теплоносія можуть бути використані різні хімічно-чисті матеріали або суміші, які мають рідку і парову фази при робочій температурі труби.

Тепловий потік, що підводиться від джерела теплоти до зони випаровування теплової труби, визиває випаровування робочої рідини з поверхні капілярної структури в напрямку парового каналу.

Потік пари під дією градієнта тиску переміщається по паровому каналу адіабатної (транспортної) зони в зону конденсації. При відводі теплоти пара

конденсується на поверхні капілярної структури в цій зоні а конденсат вертається в зону випаровування по капілярній структурі під дією капілярних сил [1].



1 – корпус; 2 – капілярна структура; 3 – рідинний теплоносіє; 4 – пар

Рисунок 1.1 – Схема теплової труби

В загальному до конструктивних елементів теплової труби відносять корпус та капілярну структуру. Корпус представляє собою герметичну оболонку, форми та розміри якої можуть бути різноманітні в залежності від призначення теплової труби та її технічних можливостей.

В якості матеріалу корпусу зазвичай використовують мідь, нержавіюча сталь, титан, тантал, алюміній та його сплави та інші. Матеріал корпусу повинен мати достатню міцність при робочих температурах ТТ.

При виборі капілярної структури для теплової труби слід виходити перш за все із комплексної оцінки її якостей, такі як: транспортні властивості по відношенню до тепло-переносу, надійність, технологічність при виготовленні.

Надійність в даному випадку слід розуміти як характеристику ймовірності виходу труби з ладу із-за протікання різноманітних процесів на які впливають фактори для різних процесів.

Існують різні види теплових труб, наприклад такі, як профільні, контурні, мікротруби та інші. Найбільш широке застосування знаходять профільні труби в

машинобудуванні і особливо в сільськогосподарському. Профільні сталеві труби випускаються безшовними і зварними.

Їх виготовляють із вуглецевої і легованої сталі і постачають у термічному обробленому стані або без термообробки. Профільні труби які працюють під тиском піддаються гідравлічному випробуванню.

Контурні теплові труби мають замкнутий контур циркуляції, де паропровід та повернення рідкої фази конденсованого теплоносія розділенні. Теплоносій циркулює по замкнутому контуру від випарника, який встановлено на електричному приладі.

Пара теплоносія потрапляє в конденсатор де конденсується і в рідкому стані по капіляру потрапляє назад до випарника.

Контурні теплові труби використовують при охолодженні космічної електроніки, а також там, де не можна поблизу розмістити радіатор через геометричні обмеження.

Для здійснення робочого процесу ТТ. обов'язково необхідно, щоб її гніт залишався весь час насиченим рідкою фазою теплоносія. На даний час є труби з різними теплоносійми: від криогенних рідин до рідких металів. І саме по цьому принципу тт. можна розділити на криогенні, рідкометалічні та труби для помірних температур.

Важливою умовою роботи ТТ. являється циркуляція теплоносія. Для досягнення максимальної ефективної теплопровідності ТТ потрібна максимально можлива інтенсивність циркуляції.

Додатковим фактором, який впливає на ефективність роботи ТТ, є температурна характеристика ТТ, умови контакту між нею та її зовнішнім джерелом тепла. А також різна контрольно-вимірювальна апаратура, яка встановлена на ТТ.

1.2 Класифікація теплових труб

Теплові труби мають ряд унікальних корисних властивостей і класифікацію можна провести саме з урахуванням цих властивостей.

Процеси випаровування та конденсації в ТТ просторово розділені. Тому ТТ дозволяють здійснювати трансформацію теплових потоків, тобто при високих теплових потоках в зоні нагріву можна отримати малі потоки в зоні охолодження шляхом збільшення поверхні тепловідводу та навпаки.

Використання теплоносія, а також матеріалів корпусу та гноту з високими діелектричними властивостями дозволяє створювати теплові труби-ізолятори, які мають більше значення для деяких застосувань ТТ в техніці та енергетиці [3].

1.2.1 Класифікація по діапазону робочих температур

Криогенні теплові труби (КТТ) призначені для роботи в області температур від 0 до 200°K . У цьому діапазоні температур в якості теплоносія можна використовувати як хімічні чисті речовини у вигляді окремих елементів (аргон, азот, кисень) так і хімічні з'єднання (етан, фреон).

Теплоперенос в КТТ незначний через невелику кількість теплоти пароутворення, велику в'язкість та малого коефіцієнта поверхневого натягу.

Низькотемпературні теплові труби (НТТ) призначення для роботи при температурах $200-550^{\circ}\text{K}$. Для цього діапазону температур застосовую такі теплоносії, як фреони, аміак, спирт, ацетон та вода. Найбільш розповсюдженим теплоносієм для таких труб – вода, яка володіє високими теплофізичними властивостями.

Середньотемпературні теплові труби (СТТ) – труб, які призначені для роботи в діапазоні температур від 550 до 750°K . Теплоносіями в таких трубах використовують ртуть, лужні метали (цезій, рубідій).

Високотемпературні теплові труби (ВТТ) – труби, які призначені для роботи при температурах вище 750°K . У якості теплоносія використовують калій, натрій, свинець, літій, срібло.

Високотемпературні теплові труби із тугоплавких матеріалів (ТВТТ) зазвичай використовують при діапазоні температур вище 1300°K . Як правило, вони працюють в контрольованому середовищі, наприклад вакуум [3].

1.2.2 Класифікація за складом теплоносія

За складом теплоносія теплові труби можна поділити на однокомпонентні, багатокомпонентні та газонаповнені. В однокомпонентному теплоносії однорідний за хімічним складом, в багатокомпонентному – теплоносії представляє собою суміш двох або більше речовин, та в газонаповнених поряд з теплоносієм є деяка кількість газів.

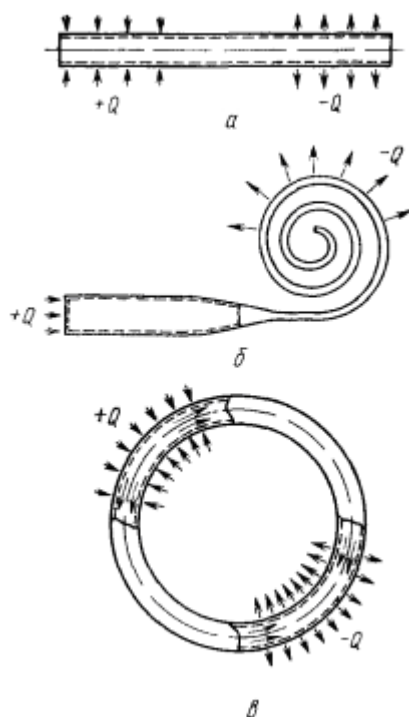
Особливість труб із багатокомпонентними теплоносіями це можливість розділяти компоненти по довжині труби, в результаті чого може відбуватись утворення ділянок по довжині труби із різним рівнем температур.

Важлива особливість газонаповнених теплових труб – можливість саморегулювання робочої температури при зміні кількості теплоти, яка переноситься. Підвищення тиску пара при збільшенні кількості тепла, який підводиться, призводить до стиснення газу в трубі, зменшення її зони, яку займає газ.

Наявність такого зворотного зв'язку дає можливість при значній зміні кількості тепла, яка переноситься, підтримувати близькою до постійної температури труби.

1.2.3 Класифікація за конструкційним виконанням

Теплові труби виконують різноманітних геометричних форм: прямі, циліндричні, прямокутні, спіральні та кільцеві (рис.1.2).



а – пряма теплова труба, б – спіральна теплова труба, в – кільцева теплова труба

Рисунок 1.2 – конструкційне виконання теплових труб

До ТТ також відносять термосифони, в яких перенос тепла здійснюється за допомогою випаровування та конденсації теплоносія аналогічно процесу перенесення тепла в ТТ. Але, на відміну від звичайних ТТ, які розглядаються, повернення рідини із зони конденсації в зону випаровування у них відбувається під дією масових сил, а не капілярних.

1.3 Обмеження робочих параметрів теплової труби

Фізичні процеси при роботі теплових труб вимагають ряд обмежень на їх робочі параметри. Визначальним для теплової труби є те обмеження в результаті якого при тій чи іншій температурі максимально можлива передаюча потужність має

найменше значення. Значення обмежень звичайно залежать від різноманітних властивостей теплоносія, структури гноту та геометрією самої теплової труби.

Важливою умовою роботи ТТ являється циркуляція теплоносія. Для досягнення максимальної теплопровідності ТТ потрібне максимально можлива інтенсивність циркуляції. Обмеження робочих параметрів в трубах зв'язані із граничною здатністю капілярної структури (капілярна межа), замиканням парового потоку (звукова межа), винесенням рідини з міжфазної границі рідина-пар гноту парою, який рухається з великою швидкістю (межа винесення), руйнуванням потоку рідини кипінням в гнотті (межа кипіння).

Додатковим фактором, який впливає на ефективність ТТ є температурна характеристика ТТ, умови контакту між ТТ та її зовнішнім джерелом та стоком тепла, а також різноманітна контрольно-вимірювальна апаратура, яка встановлена на ТТ.

Обмеження теплового потоку теплової труби регулюються наступним фактором (рисунок 1.2): [3]

1) В'язкісна межа. При низькій температурі різниця тиску пари між випарником та конденсатором може бути недостатньою для подолання в'язких сил.

2) Звукова межа. Це відбувається, коли швидкість пари досягає звукової швидкості на випарнику, і будь-яке збільшення різниці тиску не прискорить потік.



Рисунок 1.2 – межі теплопередачі в теплових трубах

3) Межа винесення. При високих швидкостях пара, краплі рідини відриваються від гноту і захоплюються паром. Краплі надходять у конденсатор з паром, що призводить до висихання на випарнику. Це досягається, коли капілярний тиск занадто низький для транспортування достатньої кількості рідини до випарника з конденсатора.

4) Межа кипіння. Коли радіальний тепловий потік в тепловій трубі змушує рідину в гноті кипіти і випаровуватись, це призводить до висихання самої теплової труби.

5) Капілярне обмеження. При певній, граничній величині теплового потоку, який підводиться до зони випаровування ТТ, величина перепаду тиску у капілярній структурі стає недостатньою для повернення необхідної кількості конденсату до зони випаровування.

Визначальним для теплової труби є обмеження, в результаті якого при заданій температурі максимально можлива передаюча потужність має найменше значення.

Значення цих різних обмежень, у свою чергу, залежать від різних властивостей теплоносія, структури гноту і геометрії ТТ. Показником впливу кожного з обмежень на роботу ТТ є відповідне граничне значення потужності, так зване обмеження

теплопереносу. При проектуванні систем охолодження та передачі теплоти на основі ТТ обов'язково потрібно знати, яке обмеження є визначним для конкретної ТТ.

1.4 Капілярне обмеження потужності, що передається

В [4] було показано, що капілярний тиск вздовж всієї довжини ТТ описується наступним рівнянням (1.1):

$$P_c(x) = \Delta P_l(x_{\min} - x) + \Delta P_v(x - x_{\min}) \quad (1.1)$$

де $P_c(x)$ – капілярний тиск в точці з координатою x вздовж труби.

Існує максимальний капілярний тиск для будь-якої комбінації рідина – гніт. Крім цього, якщо ТТ працює в гравітаційному полі, максимально допустимий для осьового переносу рідини ефективний капілярний напір $P_{cm,e}$, буде менший, ніж максимальний капілярний напір, який буде розрахований рівнянням (1.2):

$$P_{cm} = \frac{2\sigma}{r_c} \quad (1.2)$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу рідини, r_c – ефективний капілярний радіус.

Це зниження обумовлено дією гравітаційної сили у напрямку перпендикулярної осі ТТ. Наприклад, для ТТ з кутом нахилу до горизонту φ та діаметром d максимальний капілярний напір можна розрахувати за допомогою рівняння (2.2):

$$P_{cm,e} = \frac{2\sigma}{r_c} - \rho_t g d_v \cos \psi \quad (2.2)$$

Отже видно, що для заданого режиму роботи ТТ при даній температурі та її орієнтації максимальний капілярний тиск постійний.

В загальному капілярне обмеження значень осьового теплового потоку можна отримати із фактору передачі потужності, якщо розподіл теплового потоку по довжині труби відомий.

Капілярне обмеження для теплової труби із заданим теплоносієм та температурою можуть бути збільшені при використанні гноту із меншим капілярним радіусом та з більшою проникністю [4].

1.5 Звукова межа

В ТТ із постійним діаметром парового каналу потік прискорюється та уповільнюється через підводу пара у випарник і відводу у конденсатор. Зміна швидкості у звужувально-розширювальному соплі відбувається внаслідок течії з постійною масовою витратою через переріз, який змінює свою форму а в той час як зміна швидкості в ТТ відбувається через зміни масової витрати потоку при постійному перерізі каналу. У звужувальній частині сопла тиск падає, в результаті чого швидкість потоку росте (рисунок 1.3) [4].

В розширювальній частині сопла швидкість може продовжувати рости і досягти надзвукового значення або може знову відбутися звуження потоку, що призведе до відновлення тиску і зниження швидкості. Степінь відновлення тиску залежить від величини протитиску.

Крива А відповідає дозвуковому потоку із вихідним тиском . Тиск зменшується, а швидкість збільшується аж до горловини

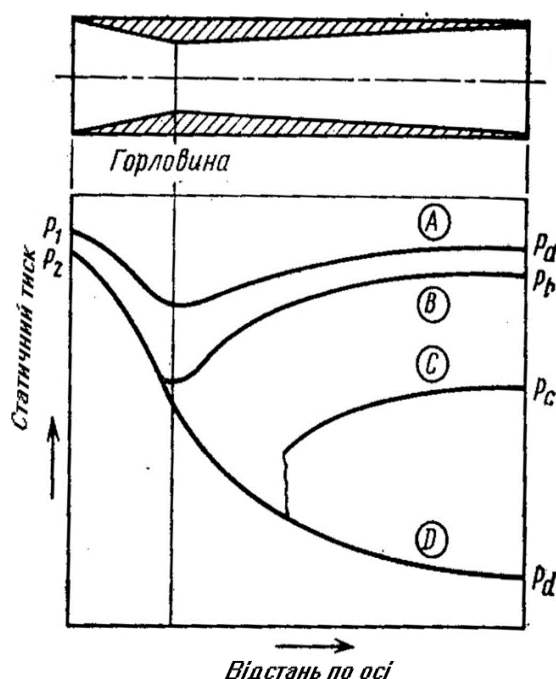


Рисунок 1.3 – Профілі тиску в звужувально-розширювальному соплі

Такі умови вважаються критичними або замикаючими, і подальші звуження протитиску не призведуть до збільшення швидкості потоку.

Коли тиск зменшується до значення , швидкість у розширювальній частині стає надзвуковою і відновлення тиску часто носить характер ударної хвилі.

Опис звукової межі може бути отриманий із одномірної теорії течії пара в якій приймається що:

- 1) властивості пара підпорядковується закону ідеального газу;
- 2) переважаючими являються інерційні ефекти;
- 3) ефектами тертя можна знехтувати.

Ці допущення є цілком правомірними, так як звукова межа досягається коли теплова труба працює при малій густині пара і високій швидкості потоку. Звукова межа досягається, коли швидкість пара на вході із випарника стає звуковою, тобто коли число Маха на виході із випарника дорівнює одиниці.

1.6 Межа винесення

Явище винесення рідини було виявлено при дослідженні ТТ по звуку, який видавали краплі рідини, що падали на торцеву частину конденсатора та різкому перегріву випарника.

Так як в ТТ рідина та пар рухаються в протилежних напрямленнях, на поверхні розподілу фаз виникає зсувна сила. Якщо швидкість пара достатньо велика, то може бути досягнута межа, коли рідина буде відриватись від поверхні гноту та захоплюватись потоком. Виникнення цього явища приводить до миттєвого висихання гноту в зоні випаровування.

1.7 Межа кризи кипіння

Основним механізмом передачі теплоти у випарнику та конденсаторі ТТ являється теплопровідність з випаровуванням та конденсацією. Проходження тепла, через насичений рідиною гніт, супроводжується створенням радіального градієнта температур в рідині. Виникнення в структурі гноту парових бульбашок є не бажаним явищем, тому що вони можуть привести до виникнення перегрітих ділянок та перешкоджати циркуляції рідини. Таким чином існує обмеження теплового потоку яке зв'язане із пароутворенням в ТТ і це обмеження має назву межа кипіння.

Існує різниця між межею кипіння та іншими межами. Тобто межа кипіння накладається на густину радіального теплового потоку, в той час як інші межі на густину осьового теплового потоку.

Однак, якщо геометрія випарника та поверхневе розподілення теплового потоку у випарнику постійні, то густина радіального потоку прямо пропорційна осьовому тепловому потоку. Слід відмітити, що створення парових бульбашок обмежене тільки зоною випаровування, тому що рідина в конденсаторі має температуру, яка менша ніж температура насичення.

1.8 Вплив орієнтації в просторі на ТТ

Значне число чинників може бути вивчено в результаті стендових випробувань, включаючи орієнтацію в полі сили тяжіння, робочу температуру, тепловий потік в випарнику, вібрацію і прискорення, питання запуску. Важливим фактором у багатьох практичних застосуваннях є вплив орієнтації труби на її характеристики

Кут нахилу – це один із основних факторів, що впливають на процеси теплообміну в ТТ, зокрема в зоні конденсації, і, як результат, на термічний опір. Від кута нахилу залежить насамперед інтенсивність подачі рідини в зону випаровування із зони конденсації.

Теплопередаюча здатність теплової труби, що працює в умовах, коли випарник розташований нижче конденсатора (термосифон або повернення конденсату самопливом), може виявитися на порядок вище, ніж у труби, що використовує гніт для повернення рідини в випарник з розташованого нижче його конденсатора.

У багатьох випадках гніт може виявитися недієздатним навіть при незначному нахилі теплової труби до горизонту, коли випарник знаходиться всього лише на кілька сантиметрів вище конденсатора. Природно, що вибір гноту частково базується на очікуваній орієнтації теплової труби в конкретних умовах.

При випробуваннях слід забезпечити можливість повороту теплової труби на 180° при працюючих випарнику і конденсаторі. Кут нахилу теплової труби повинен бути точно зафіксований і виміряний. При випробуванні теплових труб для супутників для перевірки роботи теплової труби може знадобитися нахил всього лише в 0,5 см на довжині 1 м, тобто потрібно дуже точна нівелювання контуру [5-7]. Вимірювання профілів температури уздовж теплової труби зазвичай здійснюється за допомогою термопар, встановлених на зовнішній стінці труби.

Якщо ж: потрібно провести вимірювання температур під час перехідних процесів, наприклад при запуску, кризі тепловіддачі у випарнику або в теплових трубах змінної провідності, то необхідно використовувати автоматичну електронну

систему збору даних. При дослідженні стаціонарних режимів цілком достатньо цифрового вольтметра з підключенням термопар через перемикач.

При роботі ТТ потрібно враховувати, що за умов різних її орієнтацій в просторі потік теплоносія поводитиметься по-різному. Якщо збільшувати підведений тепловий потік, пара рухатиметься з достатньо великою швидкістю, щоб перешкоджати рідині повертатися з конденсатора.

Отже виникає затоплення ТТ в зоні конденсації і вона не здатна далі функціонувати через недостатню кількість рідини в зоні нагріву. При цьому в горизонтальному режимі ТТ явище затоплення зони конденсації не є домінуючим.

Термічний опір зі зміною куту нахилу ТТ поводить себе нелінійно. Як і потоки так і температури в зонах нагріву та конденсації зростають зі збільшенням куту нахилу, покращуючи тим самим теплові характеристики. Також при менших кутах нахилу ТТ час очікування, за який накопичується енергія для утворення парових бульбашок, зростає, тому ТТ працює менш інтенсивніше.

Аналіз літературних джерел показав, що остаточно не визначено вплив орієнтації в просторі на граничні теплові потоки та теплопередаючі характеристики теплової труби. Недостатня кількість досліджень у цьому питанні гальмує як подальше вивчення теплопередаючих характеристик, так і розробку методики проектування ТТ та систем теплопередачі і тепловідводу на їх основі.

Для дослідження вищесказаних факторів та їх причин, необхідно:

- 1) виготовити зразки алюмінієвих ТТ з фіксованою довжиною та різними робочими профілями, для визначення впливу профілю на теплопередаючі характеристики ТТ;
- 2) розробити методику та сконструювати експериментальний стенд для проведення досліджень;
- 3) провести дослідження впливу в просторі теплової труби на граничні теплові потоки.

Отже, робочі параметри теплових труб можуть бути обмежені різними факторами. Звичайно, що в залежності від конструкції встановлюється відповідні співвідношення між різними обмеженнями.

2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Конструкції експериментальних теплових труб

Об'єктом досліджень є тепла труба із профілем канавки: трикутний (рис. 2.1).

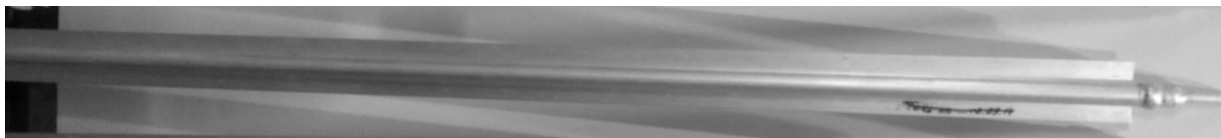


Рисунок 2.1 – Дослідний зразок

Підготовка ТТ до експерименту проходить наступним чином. Один кінець ТТ герметично запаюють, а до іншого припаюють заправний штангель. Теплова труба дегазується та вакуумується за допомогою вакуумного насосу. Щоб запобігти утворення бульбашок газу, дегазація проходить при температурах 250-300 °С, що вище ніж температури, які заплановані для проведення експерименту.

Кількість теплоносія розраховується відповідно коефіцієнту заправки і після цього теплову трубу заповнюють попередньо підготовленим теплоносієм.. Параметри ТТ що досліджувалися представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Характеристики ТТ, що досліджувались

Матеріал	Теплоносій	Профіль	Н	Зн, м	Зт, м	Зк, м	d, м
Алюміній	Пентан	Трикутний	1500	0,3	1	0,2	0,016

Наступним кроком є перевірка ТТ, яка відбувається таким чином: до зони нагріву підводиться тепловий потік і одночасно з цим контролюється температура зони конденсації. Вирівнювання температур має відбуватись не більше ніж за

хвилину. Однак, якщо температури не вирівнялись, то можна вважати, що в середині ТТ є газ, який не конденсується, або було її пошкодження при технологічному процесі. Тому необхідно повторити процес заправки і перевірити ТТ на герметичність.

Якщо при повторній перевірці ТТ проблема не була вирішена, необхідно виготовити інший зразок.

2.2 Критерії вибору матеріалу корпусу ТТ та теплоносія

Надійність роботи ТТ та сумісність матеріалу корпусу з теплоносієм є одними із важливих факторів. Теплова труба, як і будь-який інший пристрій, повинна мати високу надійність роботи, що багато в чому визначається сумісністю конструкційних матеріалів із теплоносіями. В цьому випадку під сумісністю мається на увазі відсутність електрохімічних та хімічних взаємодій між теплоносієм і матеріалами.

У якості теплоносіїв в ТТ можуть використовувати сполуки, які мають рідку та парову фази при обраному робочому діапазоні температур. Але кількість рідин, які можуть використовуватись у якості теплоносія, значно зменшується через різноманітні обмеження.

При розгляді сумісності матеріалів із теплоносіями необхідно звертати увагу на такі фактори як [8]:

- 1) корозія;
- 2) утворення газів, які не конденсуються;
- 3) надійність;
- 4) технологічність виготовлення;
- 5) транспортні властивості.

Несумісність матеріалів із теплоносіями визначається наступним чином [8]:

- 1) відбувається утворення газів, що не конденсуються,
- 2) утворюється твердий осад реакції, що зменшує внутрішній перетин і створює додатковий гідравлічний опір;
- 3) змінюються фізичні властивості теплоносіїв;

4) руйнується корпус ТТ.

Виходячи з діапазону робочих температур і простоти виготовлення, в якості корпусів ТТ був обраний алюміній. В якості теплоносіїв для теплових труб і термосифонів в принципі можна прийняти будь-які хімічні речовини й сполучення, які в заданому діапазоні робочих температур мають рідку и парову фази. Однак кількість практично застосовуваних рідин сильно зменшується через різні обмеження.

Можна виділити наступні вимоги, яким повинні задовольняти теплоносії:

1) Забезпечення передачі великого теплового потоку. Для цього теплоносій повинен мати високе значення теплоти пароутворення та високий коефіцієнт тепловіддачі. Критичні параметри теплоносія повинні бути вище робочих, тому що з підвищенням температури поверхневий натяг та теплота пароутворення зменшуються.

2) Тиск насиченої пари теплоносія в діапазоні робочих температур повинен бути достатньо високим, щоб забезпечити перенесення більшої кількості тепла при меншому перепаді температури по довжині

3) Температура плавлення повинна бути якомога менше, щоб запобігти замерзанню теплоносія.

4) Теплоносій повинен мати високий ступінь очищення. Наявність домішок може спричинити появу буферів з газу що не конденсується.

2.3. Система вакуумування та заправки ТТ

Перед заправкою ТТ теплоносієм, необхідно провести її дегазацію, яка відбувається при температурах, вищих ніж робочий діапазон. Тривалість дегазації залежить від конструктивних особливостей ТТ та від матеріалу корпусу.

Кількість заправленого теплоносія в ТТ повинна забезпечувати найбільш оптимальні параметри тепло передаючого пристрою та рівномірно розташовуватись по всьому внутрішньому об'єму.

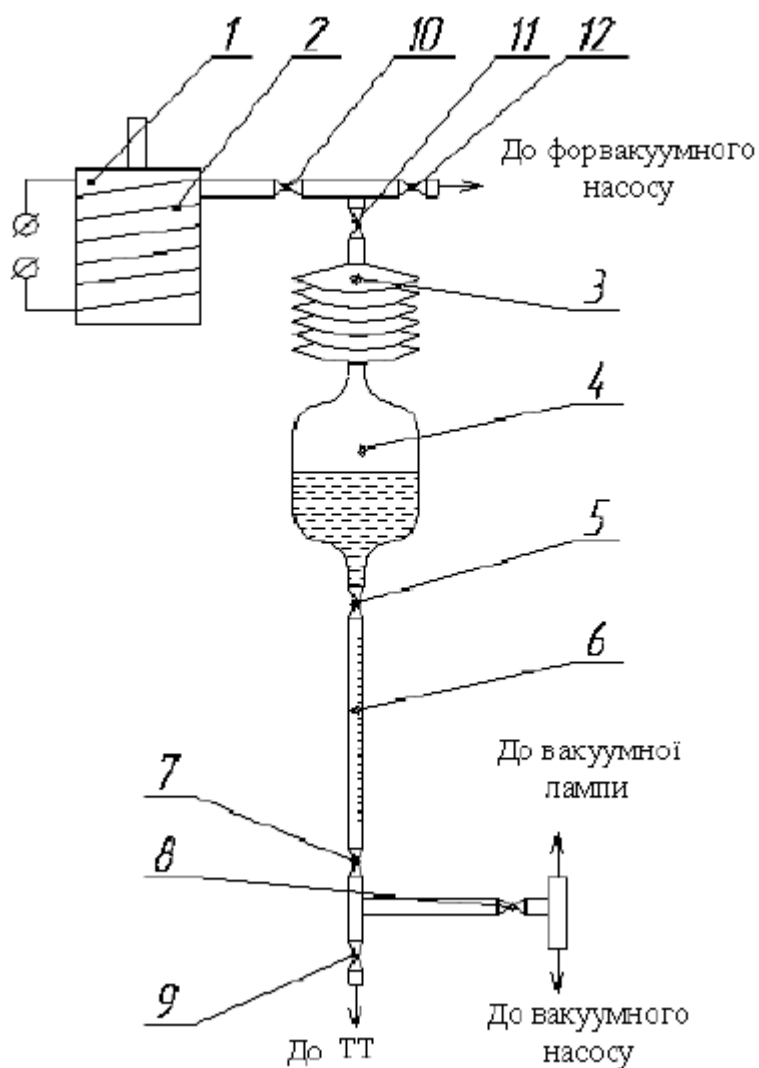
Існує кілька способів заповнення ТТ теплоносієм. Одним із надійним вважається метод заправки в камері високого тиску [1]. Для проведення досліджень, ТТ заправлялась за допомогою системи, яка показана на (рис. 2.2).

Вакуумування проводилось за допомогою вакуумного насоса НВР-5Д. Для цього закривали вентилі 5,7 та 9 і відкривали вентиль 8. Після встановлення необхідного вакууму між вентилями 7 та 9, індеатором чого служила вакуумна лампа, необхідно закрити вентиль 8 та відкрити вентиль 9. Він з'єднував вакуумну установку з ТТ.

Перед заправкою бак 1 заповнювався теплоносієм, який доводити до кипіння за допомогою нагрівача 2. Пара теплоносія конденсувалась в 3 та наповнювала накопичувальну ємність 4.

Далі відкривали вентиль 5 та набрали в мірну трубку 6 розраховану попередньо необхідну кількість теплоносія. Потім закривали вентиль 5 і відкривали вентилі 7 та 9, внаслідок чого вся рідина з мірної трубки потрапляла в попередньо дегезовану і вакуумовану ТТ.

Після чого необхідно було закрити всі вентилі. Спеціальним затискачем перетискали патрубок ТТ, який в кінці запаювався.



1 – бак з теплоносієм, 2 – нагрівач, 3 – конденсатор, 4 – накопичувальна ємність, 5,7-12 – запірні вентиля, 6 – мірна трубка.

Рисунок 2.2 – Схема станда для вакуумування та заправки ТТ

2.4 Опис експериментального станду

З метою експериментального дослідження впливу орієнтації в просторі була створена установка яка показана на рисунку 2.3. Вона складалась із систем охолодження, нагрівання і системи збору даних.

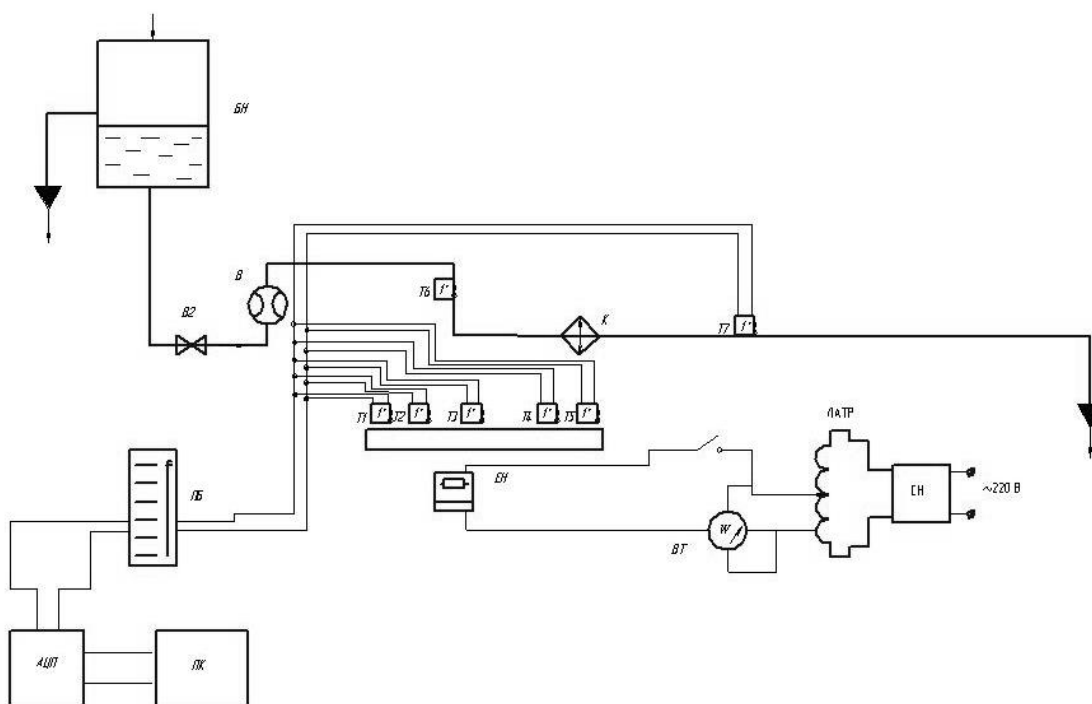


Рисунок 2.3 – Принципова схема експериментальної установки

Показання термопар в режимі реального часу виводилися на екран монітору персонального комп'ютера (ПК) через аналогово-цифровий перетворювач (АЦП). Такий пристрій дозволяв безперервно впродовж усього експерименту спостерігати зміни температурного поля ТТ.

Температурне поле ТТ вимірювалось термопарами. Експериментальний стенд показаний на рисунку 2.4.

Підвід теплового потоку до електронагрівача виконувалось за допомогою лабораторного автотрансформатора (ЛАТР).

Схема розміщення електронагрівача на ТТ показана на (рис. 2.6). Щоб зменшити вплив коливань напруги мережі на експеримент, перед ЛАТРом був встановлений стабілізатор напруги (СН).

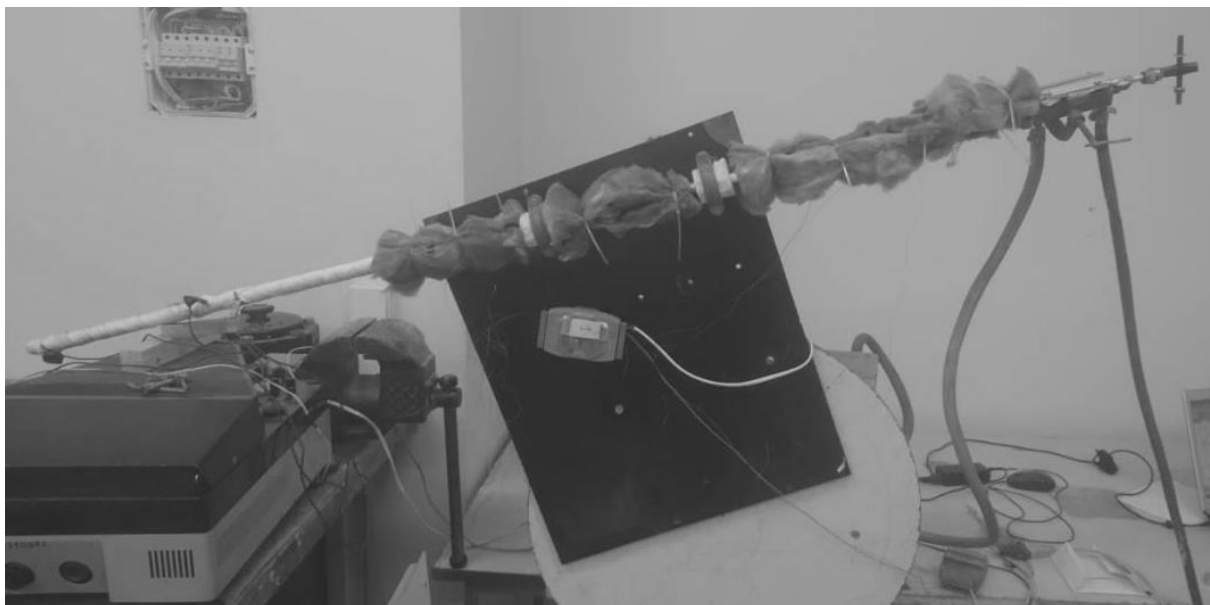


Рисунок 2.4 – Експериментальний стенд

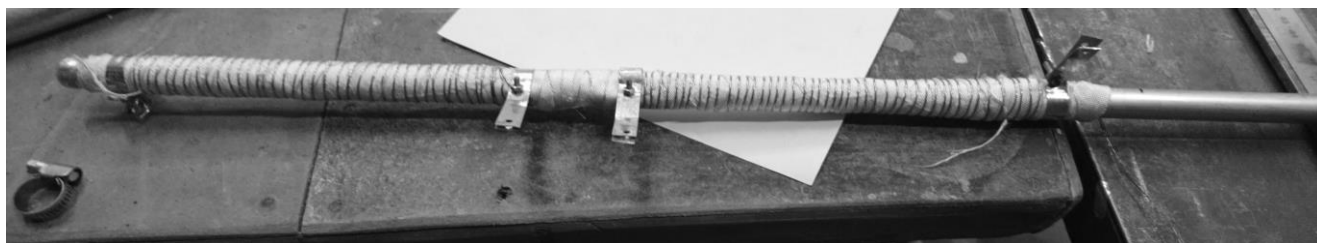


Рисунок 2.5 – Розміщення електронагрівача на профілі ТТ теплової труби без фланця

Для зменшення витрати теплоти в навколишнє середовище, дана експериментальна ділянка теплоізолювалась за допомогою базальтового волокна в два шари.

Ця теплоізоляція була обрана через те, що вона не залежить від температури, а також через малий коефіцієнт теплопровідності.

Відвід теплоти здійснювався за допомогою конденсатора (рис. 2.7), який кріпився за допомогою накладки (рис.2.8):



Рисунок 2.6 – Конденсатор алюмінієвої ТТ

Охолодження відбувалось за допомогою проточної води. Охолоджуюча вода подавалась з напірного баку, який використовувався для того, щоб нівелювати стрибки тиску у водопровідній мережі, які б впливали на точність вимірювання витрати. Витрата води фіксувалась за допомогою тарованого витратоміру.

Мідь-константові термопари на вході та на виході з конденсатора вимірювали температуру охолоджувальної рідини.



Рисунок 2.7 – Накладка конденсатора алюмінієвої ТТ

Знаючи витрату, теплоємність води C_p та різницю температур між входом та виходом конденсатора для заданого діапазону температур, розраховується відведений тепловий потік:

$$Q_{\text{від}} = G \cdot C_p \cdot (t_{\text{вх}} - t_{\text{вих}}) \quad (2.1)$$

2.5 Методика проведення експерименту

- 1) Заповнити напірний бак
- 2) Відкрити кран наповнення та подачі напірного баку з охолоджуючою водою та встановити необхідну для експерименту витрату.
- 3) Увімкнути ЛАТР та ПК. На ПК запустити програми DCON_Utility та EZ Data Logger за допомогою яких фіксуються покази термопар.
- 4) Задається початковий тепловий потік 20 Вт.
- 5) Дочекатись виходу показань термопар на стаціонарний режим, який характеризується відносно стаціонарним режимом температур.

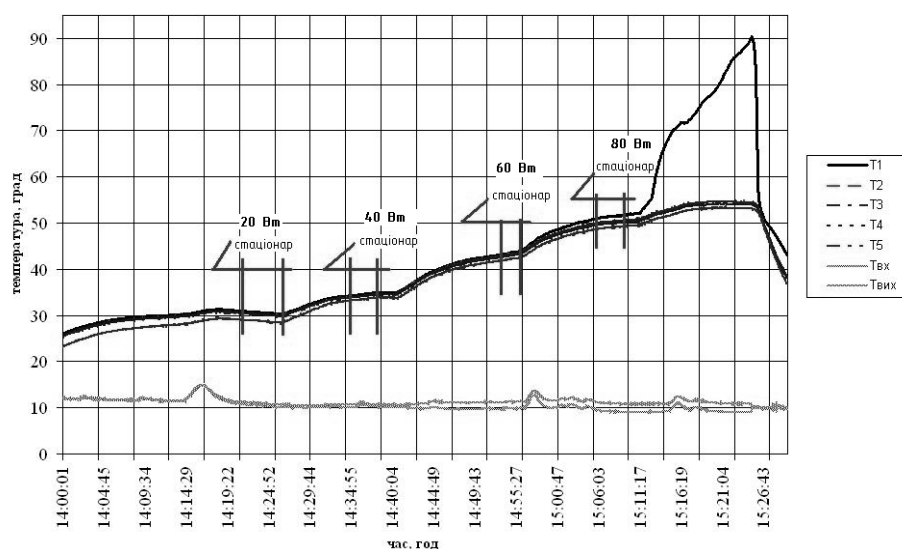


Рисунок 2.8 – Розподіл температур в тепловій трубі в часі при змінному тепловому потоці

- 6) В ході проведення експериментів зняти показання термопар, які потім слід експортувати в Excel з метою їхнього подальшої обробки.
- 7) Збільшити значення підведеної потужності, після чого повторити пункти 4-6.
- 8) Після проведення серії дослідів змінити кут нахилу і повторити пункти 1-6.
- Знаючи температури в зонах нагріву та конденсації та величину теплового потоку, можна розрахувати термічний опір:

$$R_{\text{ТТ}} = \frac{\bar{t}_{\text{ЗН}} - \bar{t}_{\text{ЗК}}}{Q_{\text{від}}}, \quad (2.2)$$

де $\bar{t}_{\text{ЗН}}$ та $\bar{t}_{\text{ЗК}}$ – середні температури в зонах нагріву та конденсації, відповідно.

$$\bar{t}_{\text{ЗН}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 t_i, \quad (2.3)$$

$$\bar{t}_{\text{ЗК}} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 t_j, \quad (2.4)$$

де i – номери термопар в зоні нагріву, j – номери термопар в зоні конденсації.

З іншого боку, якщо коефіцієнти теплообміну є відомими в зонах випаровування та конденсації, то можна визначити термічний опір ТТ в цих зонах за такими формулами [9]:

$$R_{\text{в}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}} S_{\text{в}}}, \quad (2.5)$$

де $\alpha_{\text{в}}$ - середній коефіцієнт теплообміну в зоні випаровування, Вт / м² · К;

$S_{\text{в}}$ - площа поверхні теплообміну в зоні випаровування, м².

$$R_k = \frac{1}{\alpha_k S_k}, \quad (2.6)$$

де α_k - середній коефіцієнт теплообміну в зоні конденсації, Вт / м² · К ;

S_k - площа поверхні теплообміну в зоні конденсації, м².

Тоді:

$$R_{TT} = R_b + R_k, \quad (2.7)$$

2.6. Оцінка похибок експерименту

Визначення величини очікуваних похибок вимірювань є одним із важливих елементів правильної постановки експериментів і одержання надійних експериментальних даних. Проведено оцінку похибок експерименту з теорією обробки експериментальних даних [10...13]

Розрізняють систематичні, випадкові похибки та промахи. Систематичні помилки усуваються завдяки застосуванню вимірювальної апаратури і приладів достатньо високого класу точності.

Промахи усуваються шляхом повторення експериментів, які викликають сумнів в правильності результатів. Випадкові помилки, пов'язані з явищами, які експериментатор не може контролювати (температура навколишнього середовища, тиск, вологість і тому подібне).

В загальному випадку похибки виникають в результаті того, що в розрахункові залежності підставляють миттєві або осереднені значення замість істинних.

При проведенні даної роботи визначались осереднені значення температур зовнішньої стінки та охолоджуючої рідини, а також миттєві значення підведеної до нагрівача потужності.

Випадкова похибка визначення середнього значення температури має вигляд:

$$\Delta_{\Sigma} T = \pm t \cdot \sigma(T), \quad (2.8)$$

де t – критерій Стюдента, що відповідає довірчій вірогідності P при n вимірах;

$\sigma(T)$ – середньоквадратична похибка середнього арифметичної температури,

що визначається наступним чином:

$$\sigma(T) = \sqrt{\frac{D(T)}{n}}, \quad (2.9)$$

де $D(T)$ – дисперсія середньоарифметичної температури, що визначається за формулою:

$$D(T) = \frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n-1}, \quad (2.10)$$

де T_i – результат i -го вимірювання температури, К;

\bar{T} – осереднене значення температури, К.

Для зменшення величини випадкової похибки був проведений розрахунок до якого входила вибірка показань термопар. Максимальна амплітуда пульсацій температур була зафіксована і похибка складала 0,2 К.

Оскільки випадкові похибки незначні, а довірчий інтервал прийнято рівним $P=0,95$, системні відносні похибки можна розраховувати за спрощеною методикою. Отже відносна похибка визначення термічного опору за виразом розраховується за формулою:

$$\delta R_{TT} = \sqrt{\delta^2 (\Delta T_{TT}) + \delta^2 Q_{\text{від}}}, \quad (2.11)$$

де $\delta^2(\Delta T_{\text{ТТ}})$ – відносна похибка визначення перепаду температур між ЗН та ЗК ТТ;

$\delta^2 Q_{\text{від}}$ – відносна похибка визначення величини теплового потоку, підведеного до ТТ.

Таблиця 2.2 – Відносні похибки визначення основних величин при дослідженні теплопередаючих характеристик ТТ

Величина	Відносна похибка
Середня температура, \bar{T}	1,5%
Температурний напір між ЗН і ЗК ТТ, ΔT	0,38%
Відведена тепла потужність, $Q_{\text{від}}$	17,7%
Термічний опір ТТ, $R_{\text{ТТ}}$	17,4%

3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В результаті експериментальних досліджень алюмінієвої ТТ з теплоносієм пентан було отримано залежності термічного опору ТТ від відведеного теплового потоку при різних температурах насичення та орієнтації в просторі.

На (рис. 3.1...3.3) приведено залежність термічного опору ТТ від кута нахилу (з різною витратою охолоджуючої води) та відведеного теплового потоку.

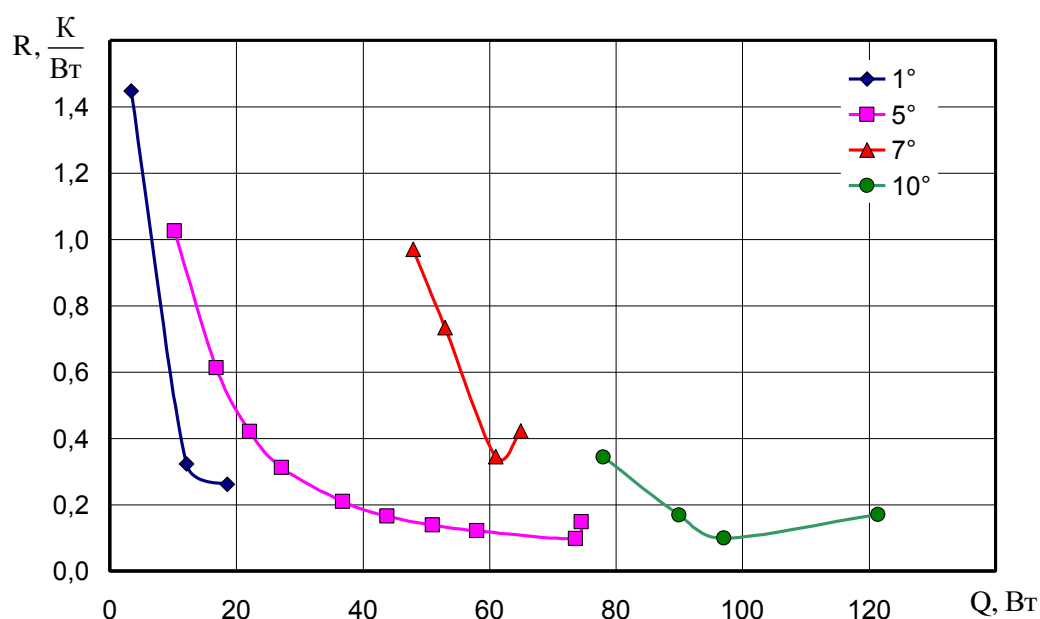


Рисунок 3.1 – Залежність термічного опору ТТ від теплового потоку при різних кутах нахилу (витрата охолоджуючої води 0,0099 г/с)

Як видно з вищеприведеного графіку, для кута нахилу теплової труби в один градус, термічний опір був найбільшим, а переданий тепловий потік – найменшим. Для кута нахилу, що дорівнює п'ять градусів, досягнення обмеження теплового потоку, що передається було затяжним, але з меншим термічним опором та більшим максимальним тепловим потоком.

Тобто термічний опір спадає при збільшенні кута нахилу теплової труби, а тепловий потік – зростає. Це відбувається за рахунок дії гравітаційних сил, що інтенсифікуються процес повернення теплоносія до зони нагріву.

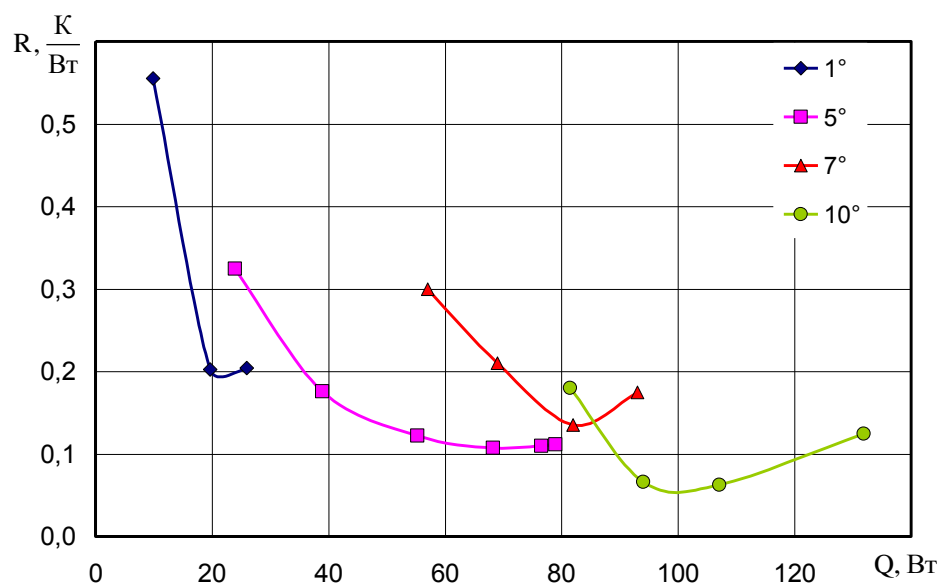


Рисунок 3.2 – Залежність термічного опору ТТ від теплового потоку при різних кутах нахилу (витрата охолоджуючої води 0,0264 г/с)

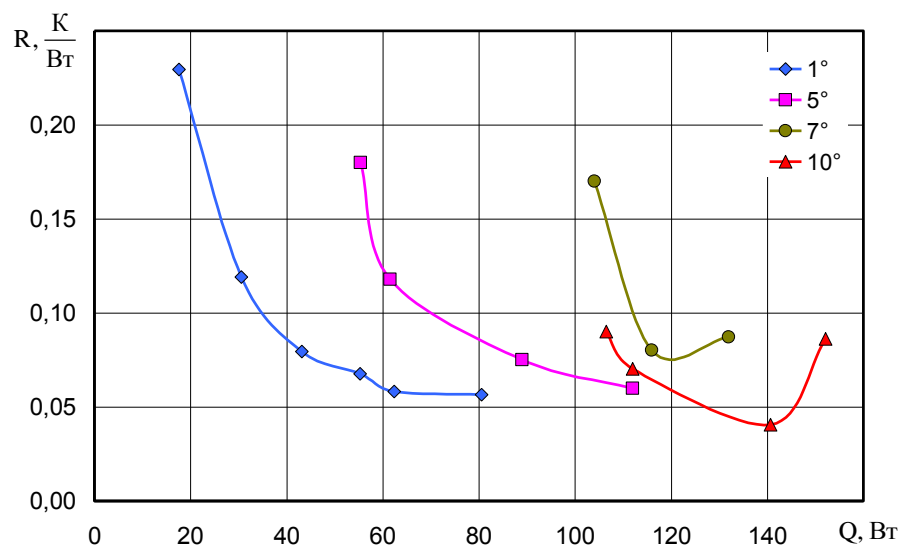


Рисунок 3.2 – Залежність термічного опору ТТ від теплового потоку при різних кутах нахилу (витрата охолоджуючої води 0,0528 г/с)

Як видно з (рис.3.2-3.3) характеристика повторюється. При збільшенні витрати охолоджуючої води та зміні кута нахилу ТТ на більший – величина термічного опір спадає, а тепловий потік, що передається зростає. Отже при інтенсифікації відводу теплоти загальні характеристики ТТ покращуються.

На (рис.3.4-3.5) приведені залежності граничного теплового потоку від температур насичення для різних кутів нахилу.

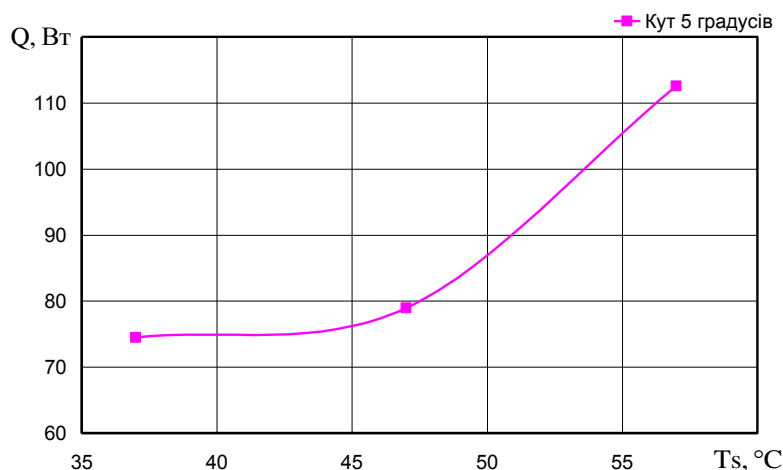


Рисунок 3.4. – Залежність граничного теплового потоку від температури насичення ТТ (кут нахилу 5 градусів)

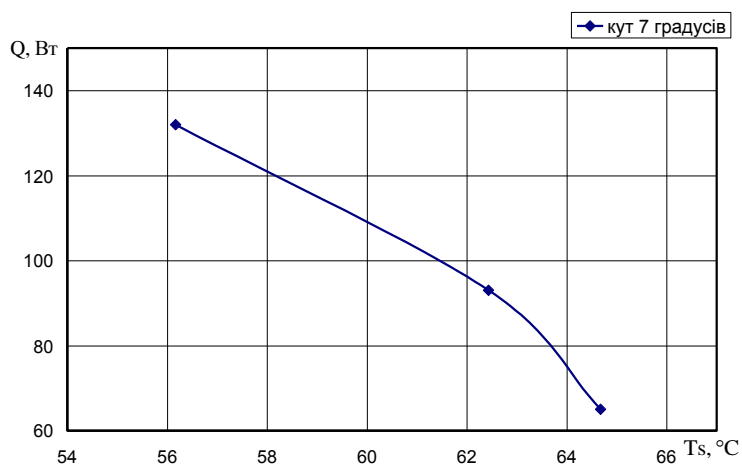


Рисунок 3.5 – Залежність максимального теплового потоку від температури насичення ТТ (кут нахилу 7градусів)

Як видно з (рис.3.4) при збільшенні температури насичення тепловий потік зростає. На (рис. 3.5) показано, що при рості температури насичення тепловий потік спадає. Це пояснюється тим, що при проведенні експериментальних досліджень з різними кутами нахилу, в цьому випадку 5 і 7 градусів було виявлено, а точніше досягнуто два обмеження теплового потоку теплової труби, а саме межа унесення та межа кипіння.

Також було отримано залежність теплового потоку від кута нахилу ТТ (рис. 3.6):

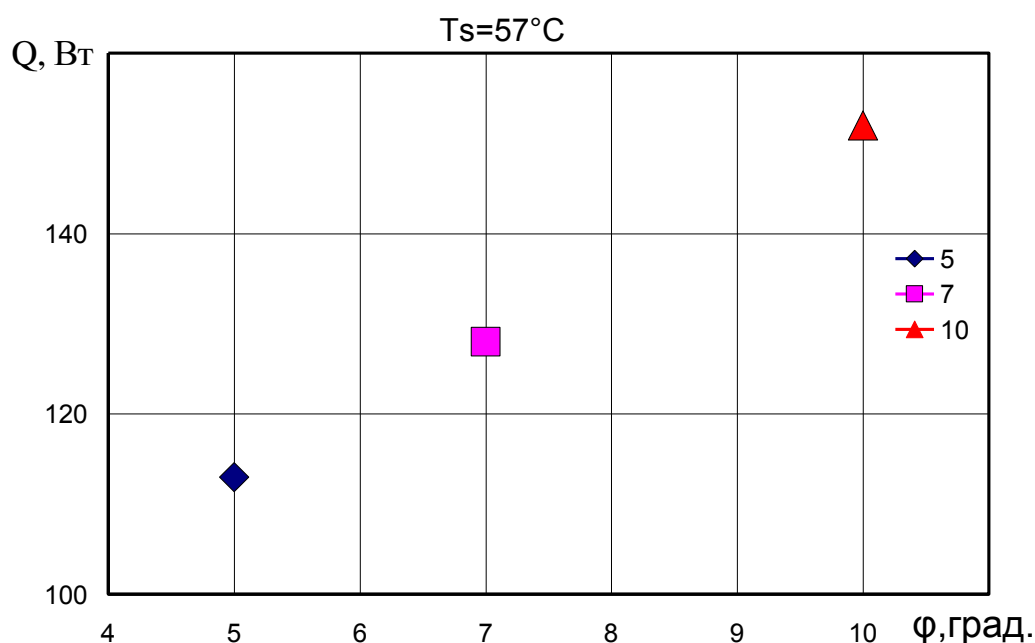


Рисунок 3.6 – Залежність теплового потоку, що передається від кута нахилу ТТ при постійній температурі насичення

При постійному значенні температури насичення ТТ, що дорівнює 57°C збільшення кута нахилу відносно горизонту підвищення теплового потоку, що передається. Це пояснюється тим, що зміна кута нахилу призводить до інтенсифікації внутрішніх процесів теплообміну, як результат зростання теплового потоку при однокових умовах охолодження.

Для порівняння отриманих результатів, був зроблений розрахунок граничних значень теплового потоку для алюмінієвої теплової труби з трикутними канавками та теплоносієм пентан. При виконанні розрахунків були використані залежності, які представлені в [4, с. 64-90].

Граничне значення теплового потоку, яке обумовлене капілярною межею, розраховувалось як:

$$Q_{\text{кап}} = \frac{(QL_{\text{max}})}{L_{\text{еф}}}, \quad (3.1)$$

де $L_{\text{еф}}$ – ефективна довжина ТТ, м.

Фактор капілярної межі QL_{max} теплового потоку розраховувався за наступною формулою:

$$QL_{\text{max}} = \frac{\frac{2\sigma}{r_c} - \Delta P_{\perp} - \rho_l g L_t \sin \alpha}{F_l + F_v}, \quad (3.2)$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м;

r_c – радіус капіляра, м;

ΔP_{\perp} – гідростатичний тиск, Па;

ρ_l – густина рідини, кг / м³;

g – прискорення вільного падіння, кг / с²;

L_t – загальна довжина теплової труби, м;

α – кут нахилу теплової труби відносно горизонту, рад.

Коефіцієнти тертя рідини F_l та F_v розраховувались за наступними формулами:

$$F_l = \frac{\mu_l}{KA_w \rho_l r}, \quad (3.3)$$

$$F_v = \frac{f_v Re_v \mu_v}{2r_{h,v}^2 A_v \rho_v r}, \quad (3.4)$$

де μ_l та μ_v – в'язкість рідини та пара, відповідно, Па·с;

K – проникність капілярної структури, m^2 ;

A_w – площа поперечного перетину капілярної структури, m^2 ;

r – питома теплота пароутворення, Дж / кг;

$f_v Re$ – коефіцієнт гідростатичного опору.

$r_{h,v}$ – гідравлічний радіус парового каналу, м;

A_v – площа поперечного перерізу (m^2) парового каналу;

ρ_v – густина пара, кг / m^3 .

Площа поперечного перетину парового каналу розраховувалась як:

$$A_v = \frac{2S_{кан}}{B} = \frac{2(\pi r_{кан}^2 + \delta h_{кан})}{2\pi r_{кан} + 2h_{кан} - \delta}, \quad (3.5)$$

де $S_{кан}$ – площа поперечного перерізу канавки, m^2 ;

B – змочений периметр канавки (вважається, що теплоносії змочує весь периметр), м;

$r_{кан}$ – радіус круглої частини канавки, м;

δ – ширина канавки, м;

$h_{кан}$ – висота канавки, м;

Граничне значення теплового потоку, що обумовлюється межею кипіння, розраховувалось як:

$$Q_{кип} = \frac{2\pi L_e k_e T_v}{r \rho_v \ln\left(\frac{r_k}{r_v}\right)} \left(\frac{2\sigma}{r_n} - P \right), \quad (3.6)$$

де k_e - ефективна теплопровідність капілярної структури, яка насичена рідиною, Вт / (м · К);

T_v - температура пара, К;

r_k - внутрішній радіус корпусу ТТ, м;

r_v - радіус парового каналу, м;

P – капілярний тиск, Па.

Граничне значення теплового потоку, яке обумовлюється межею унесення, розраховувалось як:

$$Q_{\text{вин}} = A_v r \sqrt{\frac{\sigma \rho_v}{2 r_{h,s}}}, \quad (3.7)$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м;

$r_{h,s}$ – гідравлічний радіус поверхневих пор, м;

Граничне значення теплового потоку, яке обумовлюється звуковою межею розраховувалось як:

$$Q_{\text{зв}} = A_v \rho_v r \sqrt{\frac{\gamma_v R_v T_0}{2(\gamma_v + 1)}}, \quad (3.8)$$

де γ_v - показник адіабати;

R_v - універсальна газова стала, Дж / (кг · К);

T_0 - температура насичення, К;

На (рис.3.7) показані розраховані залежності граничних теплових потоків ТТ від температури насичення та дані, які були отримано експериментальним шляхом.

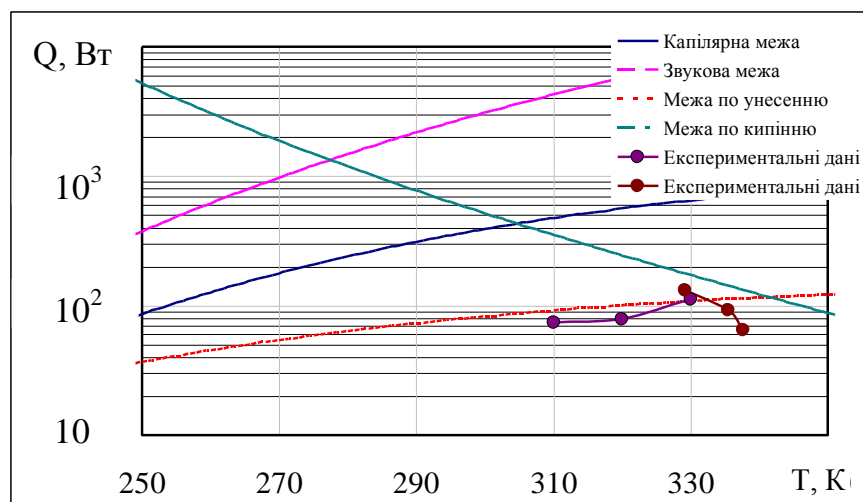


Рисунок 3.7. – Залежність теплового потоку від температури насичення

На (рис.3.7) показано робочу область для алюмінієвої ТТ з трикутним профілем канавки та теплоносієм пентан. Ця область обмежена двома межами – межа винесення та межа кипіння.

На дану область було нанесено отримані експериментальні точки. Як видно з графіку, під час проведення експерименту було досягнуто обох меж.

Загальний характер даних повторює характер розрахункових залежностей, проте чітко видно зміщення перетинання кривих. Це може бути пояснено похибкою експерименту та похибкою самих розрахункових залежностей.

4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

Дослідження процесів теплопередачі алюмінієвих теплових труб для різних теплоносіїв дуже важливі у зв'язку із створенням нових ефективних пристроїв терморегуляції для забезпечення теплових режимів теплонавантажених елементів і вузлів електронної техніки.

Також важливим є вивчення впливу орієнтації в просторі ТТ на її теплопередаючі характеристики, адже існує велика кількість електронного обладнання що змінює свою орієнтацію в просторі з часом.

В даній дипломній роботі проводиться дослідження теплопередаючих характеристик алюмінієвих ТТ в залежності від виду канавки, кута нахилу, а також від теплофізичних властивостей теплоносія.

Отримані дані можуть бути використані для більш повного розуміння процесів в ТТ, а також для поповнення бази даних, що в майбутньому дозволить створювати методики та рекомендації для створення цих високоефективних теплопередаючих пристроїв.

Робота відповідає світовому рівню у частині теоретичного та експериментального дослідження процесів теплообміну та отримання нових даних

Стартап як форма малого ризикового підприємства впродовж останнього десятиліття набула широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок і вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає [11].

Розділ присвячено реалізації першого етапу розроблення стартап-проекту [14], а саме висвітлення маркетингових аспектів створення стартапу задля визначення принципової можливості його ринкового випровадження та можливих напрямків реалізації цього впровадження.

4.1 Опис ідеї проекту

Опис ідеї проекту, її зміст, можливі напрямки та основні вигоди вказані в табл.4.1:

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
В зв'язку з інтенсивним розвитком електроніки, що супроводжується збільшенням теплових навантажень та мініатюризацією габаритних розмірів елементів, виникає проблема в створенні та дослідженні систем терморегулювання на основі алюмінієвих ТТ.	1. Системи охолодження;	1. Дешевша система
	2. Системи охолодження для космічної техніки, РЕА	2. Високі теплопередаючі характеристики;
	3. Сучасні електроні обладнання;	3. Мініатюризація габаритних розмірів;
		4. Більші теплові навантаження;
		5. Створення методик розрахунків цілого спектру пристроїв

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів вказані в табл.4. 2:

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтраль на сторона)	S (сильна сторона)
	Мій	Конку рент			
Використання ТТ з високими показниками теплопередаючих характеристик відносно від її положення в просторі	Система для визначен ня впливу орієнтації на граничні умови ТТ	немає	Узагальн ені дані	Методика вибору системи	Визначення найкращого положення ТТ, для конкретного теплоносія, компактна компоновка.

4.2 Технологічний аудит ідеї

В межах даного розділу проводимо аудит технології за допомогою якого можна реалізувати ідею проекту. Визначення технології здійснення ідеї проекту вказана в табл. 4.3:

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	2	3	4

Продовження табл. 4.3

1	2	3	4
Створення пасивних систем терморегулювання на основі алюмінієвих теплових труб, за умов реалізації режиму роботи термовимикача.	Простіша у виготовлені, за рахунок конструктивної, канавчатої капілярної структури, яка отримуються на стадії виготовлення корпусу ТТ а також тепломасообмінн і технології.	При виготовлені ТТ така технологія використовується лише у даного матеріалу, яка є на факультеті	При виконанні такого проекту алюмінієві теплові труби були надані і майже всю технологію можна купити недорого, або сконструювати елементами-замінниками

Отже, технологічна реалізація проекту можлива, адже саме такою реалізацію виготовлення можливий той результат, який необхідний.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації

проекту, дозволяє спланувати напрям розвитку проекту. Потенційні групи клієнтів, їх характеристики вказані в табл. 4.4:

Таблиця 4.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживача до товару
1	2	3	4	5
1	Легкість у виготовленні	Споживачі	Чим легше виготовити той чи інший потрібний канавчатий профіль у ТТ, тим більше буде на ринку цього продукту	Доступність, логічність, довгостроковість, організація маркетингу і продажів
2	Дешева продукція	Наукова сфера	Для експериментальних досліджень ТТ з дорогих матеріалів наукова бригада не завжди має змогу придбати	Дослідження розвитку ринку

Продовження табл. 4.4

1	2	3	4	5
3	Хороші показники теплопередаючих характеристик	Наукова сфера	Значне підвищення продуктивності, економічності обладнання та технологічних процесів, безперервне зниження їх матеріало- та енергоємності, докорінне підвищення якості продукції, що випускається.	Тендерне розміщення замовлень

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища, отже SWOT-аналіз вказаний в табл 4.5:

Таблиця 4.5 – SWOT-аналіз проекту

Сильні сторони (S)	Слабкі сторони (W)
<ul style="list-style-type: none"> - високі теплопередаючі характеристики; - компактна компоновка. 	<ul style="list-style-type: none"> - складність ; - обслуговування.
Можливості (O)	Загрози (T)
<ul style="list-style-type: none"> - покращення технологій. 	<ul style="list-style-type: none"> - не кожен потребує.

В (табл. 4.6) вказані взаємовідносини зі споживачами:

Таблиця 4.6 – Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту

Сегмент споживачів	Особливості поведінки	Вимоги споживачів	Канали збуту	Інші аспекти взаємовідносин
Всі хто працюють з ТТ	Великі роботи по зборці схеми.	Швидка окупність проекту та високі теплопередаючі характеристики.	Державні замовники, фірми , наукові лабораторії	Відносини з субпоставщики самих ТТ.

4.4. Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту

Таблиця 4.7 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтований попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	2	3	4	5	6
1	Наукова сфера	Важливими є високі показники результату, а особливо хороші показники теплопередаючих хар-к		Немає	Простота використання схеми, готова методика

Продовження табл. 4.7

1	2	3	4	5	6
2	Споживачі	Важливим є недороге та легко доступне обладнання з нескладною методикою використання та високі показники теплопередаючих характеристик		Субпоставщики	Доступність обладнання, легкість використання.
Цільовою групою обрано: наукова сфера, так як цей проект більший попит має саме в експериментальних напрямках.					

4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає ринок.

Таблиця 4.8 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	2	3
Конкретні відомості, щодо впливу положення в просторі	Простота схеми, отримані результати, які	Високі теплопередаючі характеристики, зменшення габаритів

Продовження табл. 4.8

1	2	3
на граничні теплові потоки алюмінієвих ТТ з тим, чи іншим теплоносієм	порівняно та узагальнено, наявність методики	приладів, створення нових систем охолодження

В ході виконаної роботи було проведено аналіз проекту та його внутрішнє середовище. За результатами аналізу було виявлено сильні та слабкі сторони підприємства, технологічну здійсненність ідеї проекту та цільові групи потенційних споживачів.

В результаті виконаної роботи, отримані результати, які можна надалі використовувати для більш повного розуміння процесів в ТТ, а також для поповнення бази даних.

Отже можна зробити висновок, що робота відповідає світовому рівню у частині теоретичного та експериментального дослідження процесів теплообміну та отримання нових даних.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В цьому розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи з безпечної експлуатації обчислювальної техніки та експериментального обладнання, а також розглянуті відповідні заходи з виробничої санітарії та гігієни праці, в тому числі питання відповідності параметрів виробничого приміщення, та умов праці санітарним нормам, тощо.

При використанні засобів обчислювальної техніки основну увагу необхідно приділити питанням електробезпеки та гігієни праці відповідно до вимог ДНАОП 0.00-1.31-99 [15] та ДСанПін 3.3.2.007-98 [16]. Окрім того в даному розділі розглянуті питання безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5.1 Технічні рішення та організаційні заходи щодо безпечної експлуатації засобів обчислювальної техніки при виконанні науково-дослідної роботи

За способом захисту людини від ураження електричним струмом згідно

ГОСТ 12.2.007.0-75 блоки ПЕОМ та периферійні пристрої відносяться до I та II класів з електрозахисту. Вимірювальні прилади мають 0I клас за електрозахистом.

Приміщення лабораторії має вологість, меншу ніж 60% і температуру меншу 35 °С. Також в приміщенні відсутній струмопровідний пил. Підлога - не струмопровідна (лінолеум). Можливість одночасного доторкання людини до електропровідних частин елементів обладнання з одного боку, та до металоконструкцій будівлі з другого боку, які мають контакт із землею, виключена.

Відповідно, до всього вище вказаного, приміщення відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки.

ЕОМ, дисплеї, електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту відповідають класу зони за ПУЕ мають апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів [17].

Робочі стенди виготовлені із спеціального матеріалу, що робить поразку електричним струмом людини, при дотику до них практично неможливим. Тобто, спеціальних заходів для електробезпеки застосовувати не потрібно.

Живлення елементів стенду відбуваються від однофазної мережі змінного струму 220В. Мережа ізолювана від землі і живиться від окремого трансформатора. Розглянемо два режими роботи обладнання:

1. Номінальний режим.

Дроти, що знаходяться в межах робочої ділянки, мають теплостійку ізоляцію. Ніхромовий нагрівач має керамічну ізоляцію у вигляді керамічних бус. ЛАТри, через які живляться нагрівачі, встановлені на гумові килими.

2. Аварійний режим роботи.

Все електрообладнання стенду, згідно вимог ПУЕ, вимикається двополюсним вимикачем. У лабораторії є спеціальні засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавички, інструмент з ізолюваними ручками. Для підвищення рівня електробезпеки, передбачено встановлення додатково автомату максимального струмового захисту та пристрою захисного відключення (ПЗВ).

До роботи на установці допускаються лише особи, що пройшли інструктаж з техніки безпеки та ознайомились з правилами експлуатації стенду.

В приміщенні розташовується 3 персональні ЕОМ, тому для прокладення трипровідникового захищеного проводу використано гнучкі металеві рукава та встановлено аварійний резервний вимикач. Розетки монтуються на негорючих пластинах з урахуванням вимог ПБЕ та Правил пожежної безпеки в Україні та виконані за магістральною схемою.

Заземлення відповідає вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів та ГОСТ 12.1.030-81.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом для приміщення лабораторії є забезпечення недоступності струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, від випадкового дотику, організація безпечної експлуатації електронагрівальних приладів а також занулення устаткування з використанням автоматів струмового захисту.

При наявності занулення замикання фази на корпус перетворюється в одноразове коротке замикання струму, від якого спрацьовує пристрій максимального струмового захисту і вимикає пошкоджений електроприлад.

Виконаємо розрахунок електромережі на вимикаючу здатність, який включає у себе знаходження величини струму короткого замикання КЗ і розрахунок номінального струму спрацювання пристрою максимального струмового захисту.

Вихідні дані для розрахунку:

- $U_{\phi}=220$ В – фазна напруга;
- кабель алюмінієвий трьохжильний 1,5 мм² та 0,85 мм²;
- питомий опір алюмінію $\rho=0,031$ Ом·мм²/м;
- $L=100$ м – відстань від трансформатора до споживача;

Активний опір фазного та нульового проводів складає:

$$r_n = r_{\phi} = \frac{\rho \cdot L}{S_{\phi}} = \frac{0,031 \cdot 100}{1,5} = 2,1 [\text{Ом}].$$

Струм однофазного КЗ знаходиться по формулі:

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{U_{\phi}}{r_{\phi} + r_n + \frac{r_U}{3}} = \frac{220}{2,1 + 2,1 + 0,3} = 48,9 [\text{А}],$$

де $\frac{r_U}{3}=0,3$ Ом розрахований опір трансформатора потужністю 250 Вт.

Номінальний струм спрацювання автомату струмового захисту складає:

$$I_{\text{ном}} = \frac{I_{\text{КЗ}}}{K} = \frac{48,9}{1,4} = 34,93 [\text{А}],$$

K – необхідна кратність струму КЗ до струму спрацювання автомату струмового захисту.

Отже при однофазному КЗ номінальний струм спрацювання автомату захисту повинен бути рівним 35А.

При однофазному КЗ нульовий провід і з'єднаний з ним корпус електроустановки за час спрацювання максимального струмового захисту знаходяться під напругою відносно землі:

$$U_{\text{дот}} = I_{\text{кз}} \cdot r_{\text{н}} = 48,9 \cdot 2,1 = 102,69[\text{В}].$$

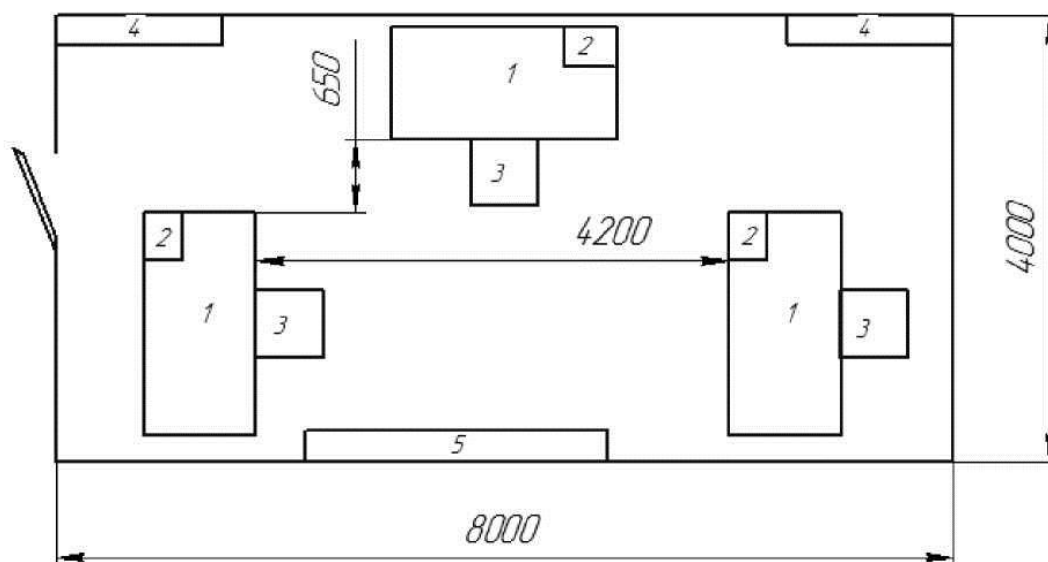
Розрахована напруга $U_{\text{дот}} < U_{\text{дот.доп}}$ у відповідності з ГОСТ 12.1.038-88 при $t < 0,2 \text{ з}$ ($U_{\text{дот.доп}} = 250\text{В}$) .

5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії при виконанні науково-дослідної роботи

Приміщення, в якому відбувалася розробка програмного забезпечення та його тестування, знаходиться на дев'ятому поверсі адміністративної будівлі. Загальна площа становить 32 кв.м, висота – 3,0 м.

Кількість працюючих у відділі – 3 чоловік. Отже, на одного працюючого в приміщенні припадає $32:3=10,67$ (кв.м/чол.) робочої площі. Згідно із СНиП 2.09.04 – 87 на кожного працюючого в управлінських приміщеннях повинно припадати не менше 4 (кв.м/чол.) робочої площі, а висота приміщення повинна становити не менше 2,5 м [18]. Отже, нормативи розмірів та забезпечення працюючих робочою площею дотримано.

План приміщення, в якому проводилося експериментальне дослідження та обробка отриманих даних, представлений на рис. 5.1.



1 - стіл; 2 - комп'ютери; 3 - стілець; 4 - шафи для зберігання документів вікно;
5 - вікно

Рисунок 5.1 - План приміщення лабораторії

У лабораторії розташовано 3 комп'ютери. Напруга джерела живлення комп'ютерів у приміщенні – 220 В. У приміщенні розміщено 3 письмових стола, дві шафи для зберігання документів. За безпекою ураження електричним струмом лабораторія належить до приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом працюючих.

5.2.1 Повітря та мікроклімат робочої зони.

Норми мікроклімату у виробничих приміщеннях встановлені ДСН 3.3.6-042-99 – «Мікроклімат виробничих приміщень» [19]. Температура в теплий період року має становити 22-24 градуси Цельсія, відносна вологість 40-60% та швидкість руху повітря $< 0,2$ м/с. Фактична температура в приміщенні рівна 22 градусам Цельсія, вологість повітря складає 45%, швидкість руху повітря 0,1 м/с, що відповідає нормам для 1б категорії робіт за енерговитратами.

У повітрі є лише незначне забруднення пилом (від паперів, книг, зовнішнього повітря), що не перевищує середньодобової норми. Джерела токсичних газів

відсутні, а вуглекислий газ, що утворюється від подиху людей, видаляється приливно-витяжною вентиляцією. У приміщенні щодня проводяться вологі прибирання.

Також проводиться регулярна профілактика устаткування. Підлога на робочих місцях рівна, щільна, має неслизьку та зручну для очищення поверхню. Стіни виробничих і побутових приміщень відповідають вимогам шумо- і теплозахисту; легко піддаються прибиранню та миттю.

5.2.2 Виконання вимог з ергономіки при організації робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ

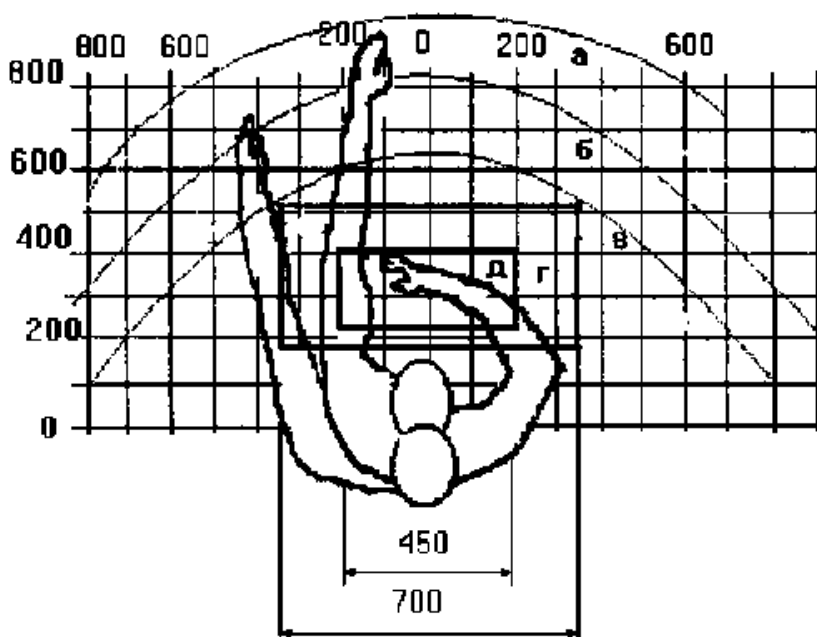
Правильна організація робочого місця може збільшити продуктивність праці інженера на десять відсотків. Отже, розглянемо питання та заходи з ергономіки.

Згідно ГОСТ 12.2.032-78 конструкція робочого місця і взаємне розташування всіх його елементів повинне відповідати антропометричним, фізичним і психологічним вимогам.

Велике значення має також характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця устаткування, що входить до складу робочого місця повинно бути оптимально розміщене.

Також потрібно передбачити достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи і переміщення.

Головними елементами робочого місця програміста є письмовий стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи організовується відповідно до ГОСТ 12.2.032-78.



а - зона максимальної досяжності;

б - зона досяжності пальців при витягнутій руці;

в - зона легкої досяжності долоні;

г - оптимальний простір для грубої ручної роботи;

д - оптимальний простір для тонкої ручної роботи.

Рисунок 5.2 - Зони досяжності рук в горизонтальній площині

Розглянемо оптимальне розміщення предметів праці і документації в зонах досяжності рук:

- дисплей розміщується в зоні а (у центрі);
- клавіатура - у зоні г/д;
- системний блоку розміщується в зоні б (зліва);
- документація: в зоні легкої досяжності долоні – в (ліворуч) - література і документація, необхідна при роботі; у висувних ящиках столу – література, якою використовується не постійно.

Параметри робочого місця вибираються відповідно до антропометричними характеристиками. При використанні цих даних у розрахунках варто виходити з максимальних антропометричних характеристик.

5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека в надзвичайних ситуаціях регламентується планами ліквідації та локалізації аварійних ситуацій (ПЛАС), до основних складових якої належать: розробка технічних та організаційних рішень щодо оповіщення, евакуації та дій персоналу у разі виникнення надзвичайних ситуацій, а також визначення основних заходів з пожежної безпеки.

5.3.1 Організація ефективної роботи системи оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації

Щоб підвищити безпеку персоналу в надзвичайних ситуаціях (НС) необхідно встановити систему оповіщення (СО) виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003-2009 [20].

Оповіщення про НС персоналу та організація евакуації здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

- поданням звукових і/або світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;

- трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямки руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;

- трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці та інших явищ, що ускладнюють евакуацію;

- ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";

- ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових покажчиків напрямку евакуації;

- дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів.

Як правило, СО вмикається автоматично від сигналу про НС, який формується системою пожежної сигналізації або системою пожежогасіння. Також з приміщення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) слід

передбачати можливість запуску СО вручну, що забезпечує надійну роботу СО не тільки при пожежі, а і у разі виникнення будь-якої іншої НС.

Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7-2002 необхідно забезпечити можливість прямої трансляції мовленнєвого оповіщення та керівних команд через мікрофон для оперативного реагування в разі зміни обставин або порушення нормальних умов евакуації виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу про НС /пожежу/ здійснюється за допомогою світлових та/або звукових оповіщувачів, якими обладнуються всі виробничі приміщення.

СО повинна розпочати трансляцію сигналу оповіщення про НС /пожежу/ не пізніше трьох секунд з моменту отримання сигналу про НС /пожежу/.

Пульти управління СО необхідно розміщувати у приміщенні пожежного поста, диспетчерської або іншого спеціального приміщення (в разі його наявності). Ці приміщення повинні відповідати вимогам пунктів 1.6.13, 1.6.14, 1.6.15 ДБН В.2.5-56-2014.

Кількість звукових та мовленнєвих оповіщувачів, їх розміщення та потужність повинні забезпечувати необхідний рівень звуку в усіх місцях постійного або тимчасового перебування виробничого персоналу.

Звукові оповіщувачі повинні комбінуватися зі світловими, які працюють у режимі спалахування, у випадках, коли працюючи перебувають у шумозахисному спорядженні або у приміщеннях з рівнем шуму понад 95 дБ.

Допускається використовувати евакуаційні світлові показники, що автоматично вмикаються при отриманні СО командного імпульсу про початок оповіщення про НС /пожежу/ та (або) аварійному припиненні живлення робочого освітлення, якщо вони відповідають вимогам ДБН В.2.5-28-2006 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення".

СО в режимі "Тривога" повинна функціонувати протягом часу, необхідного для евакуації людей з будинку, але не менше 15 хвилин.

Вихід з ладу одного з оповіщувачів не повинен призводити до виведення з ладу ланки оповіщувачів, до якої вони під'єднані.

Електропостачання СО здійснюється за I категорією надійності згідно з "Правилами устрою електроустановок" (ПУЕ) від двох незалежних джерел енергії: основного - від мережі змінного струму, резервного - від акумуляторних батарей тощо.

Перехід з основного джерела електропостачання на резервний та у зворотному напрямку в разі відновлення централізованого електропостачання повинен бути автоматичним.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у черговому режимі має бути не менш 24 годин.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у режимі "Тривога" має бути не менше 15 хвилин.

Звукові оповіщувачі повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 54-3:2003 "Системи пожежної сигналізації. Частина 3. Оповіщувачі пожежні звукові".

Світлові оповіщувачі, які працюють у режимі спалахування, повинні бути червоного кольору, мати частоту мигтіння в межах від 0,5 Гц до 5 Гц та розташовуватись у межах прямої видимості з постійних робочих місць.

5.3.2 Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації

У разі виявлення ознак надзвичайної ситуації працівник персоналу повинен:

- негайно повідомити про це засобами зв'язку органи Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) та Державну пожежну охорону, вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення НС, наявність людей, а також ФІО;
- повідомити про НС керівника, адміністрацію та пожежну охорону підприємства;
- організувати оповіщення людей про НС;
- вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;
- вжити заходів щодо ліквідації наслідків НС з використанням наявних засобів.

Керівник та пожежна охорона установи, яким повідомлено про виникнення НС повинні:

- перевірити, чи викликано підрозділи ДСНС та Державної пожежної охорони;
- вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію та рятування, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації НС;
- перевірити здійснення оповіщення людей про НС;
- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації НС;
- організувати зустріч підрозділів ДСНС та Державної пожежної охорони, надати їм допомогу у локалізації та ліквідації наслідків НС.

Після прибуття підрозділів ДСНС та Державної пожежної охорони повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла НС.

5.3.3 Технічні та організаційні рішення з пожежної безпеки

У лабораторії не використовується відкритий вогонь, легкозаймисті рідини і речовини. Найбільш висока температура, що розвивається на робочій ділянці всередині установки, не перевищує 100 °С.

У приміщенні лабораторії стіни збудовані з залізобетонних плит, перегородки із силікатної цегли, межа вогнестійкості становить 2,5 години. Стіни, перегородки, всі несучі елементи будівлі негорючі. Підлога - лінолеум, віконні рами і двері - дерев'яні. Всі ці елементи відносяться до горючих конструкцій. Категорія пожежної безпеки приміщення - В , II ступінь вогнестійкості НАПББ.07.005–86 – В [21]. Клас робочих зон виробничого приміщення по вибухопожежонебезпеці – П – П (ДНАОПО.00-1.32-01).

Для запобігання пожежі в приміщенні проводяться пожежно-профілактичні заходи: застосування запобіжників в електричних мережах, використання пилонепроникних сполучних і розподільних коробок, а також проводиться інструктаж з техніки пожежної безпеки.

Відповідно до ДСТУ 3675-98 12.4.009-75 та ISO 3941-77 у науково-дослідницькій лабораторії знаходяться два вогнегасника: вуглекислотний типу «ОУ-

5» і порошковий «ОП-2». «ОУ-5» розташований на висоті 1,5 м від підлоги поруч із вихідними дверима.

У коридорі знаходяться коробки, у яких знаходиться пожежний кран і рукав, а також знаходиться вогнегасник типу «ОХП-2».

В обох кінцях коридору знаходяться телефонні апарати, над якими знаходяться таблички з номерами телефонів для виклику внутрішньої, а також, якщо потрібно, міської пожежної охорони.

У науково-дослідницькій лабораторії є план евакуації у випадку виникнення пожежі. Максимальна віддаленість робочих місць від евакуаційних виходів і ширина евакуаційних проходів відповідають вимогам ДБН, СНиП 2.02.02-85 та СНиП 2.01.02-85.

У робочому приміщенні виконані всі вимоги НАПБ А.01.001-2004 «Правил пожежної безпеки України».

Таким чином, у науково-дослідницькій лабораторії забезпечуються технічні та організаційні рішення з пожежної безпеки.

6. ВИСНОВКИ

На основі аналізу літератури та проведених дослідів алюмінієвих ТТ був створений експериментальний стенд і вдосконалена методика збору та обробки інформації, можна зробити наступні висновки:

1. був проведений аналіз літературний аналіз, який показав незначну кількість робіт присвячених даному питанню, тому потребує подальших досліджень;
2. з цією метою була створена експериментальна установка та розроблена методика проведення досліджень;
3. отримані експериментальні дані з впливу кута нахилу, температури насичення на максимальний тепловий потік та термічний опір ТТ.
4. Для підтвердження та верифікації отриманих даних, був зроблений розрахунок зі відомими залежностями з літератури, граничних значень теплового потоку для алюмінієвої ТТ. Загальних характер експериментальних даних повторює характер розрахункових залежностей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Семена М.Г. Гершуни А.Н. Зарипов В.К. Тепловые трубы с металловолоконными капиллярными структурами: монография. Киев : Виц шк, Головное издательство, 1984. – 215с.
2. ГОСТ 23073-78. Трубы тепловые. Термины, определения и буквенные обозначения: – Москва: Изд-во стандартов, 1978 – 5с.
3. Ивановский М. Н., Сорокин В. П., Ягодкин И. В. Физические основы тепловых труб.: навчальний посібник. Москва.: Атомиздат, 1978.
4. Чи С. Тепловые трубы: Теория и практика пер.с.англ.: – Москва: Машиностроение 1981. – 207с.
5. Ľuboš K. Influence of working position for thermal performance of the capillary heat pipe. Enviroment. 2012. –46 - 48 p.
6. Mauro M. Numerical investigation of the effects of orientation and gravity in a closed loop pulsating heat pipe. Microgravity Science and Technology. 2012. 79 - 92 p.
7. How wicks and orientation affect a heat pipes performance Qpedia. 2009. 18 - 23 p.
8. Reay D.A. Heat Pipes: Theory, Design, and Application. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006. – 377 p.
9. Хайрнасов, С. М. Науково-технологічні основи створення алюмінієвих теплових труб для ресурсозберігаючих систем : дис. д-ра техн. наук : 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. – Київ, 2017. – 362 с
10. Теория и техника теплофизического эксперимента: Учеб. пособие для вузов под ред. Щукина В.К.:М.: Энергоатомиздат, 1985. – 360 с.
11. Зайдель А.Н. Погрешности измерений физических величин Л.: Наука, 1985. – 112 с.
12. Грановский В.А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях: Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
13. Безродный М.К. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика Киев: Факт, 2005. – 704 с.

14 Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей Україна м. Київ, 2016.

15. Правила будови і безпеки експлуатації посудин, що працюють під тиском: ДНАОП 0.00 – 1.07 – 94. – К. Держспоживстандарт України, 2006.

16. Державні санітарні правила і норм роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПІН 3.3.2.00-98. – К. Держспоживстандарт України, 2006.

17. Правила улаштування електроустановок: ПУЕ. – К. Держспоживстандарт України, 2006.

18. Строительные нормы и правила: СНиП2.09-04- 87. – К. Держспоживстандарт України, 2006.

19 Санітарні норми мікроклімату приміщень: ДСН 3.3.6.042-99. – К. Держспоживстандарт України, 2006

20 Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою: НАПБ А.01.003. 2009 - К. Держспоживстандарт України, 2009.

21 Правила пожежної безпеки в Україні: НАПББ.07.005–8601.001-2004– К. Держспоживстандарт України, 2006.

Додаток А
Специфікації до складального креслення

Додаток Б
Технічне завдання на науково дослідну роботу

ЗАТВЕРДЖУЮ

Лабораторія теплових труб НТУУ «КПІ»

«__» _____ 2016 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан ТЕФ НТУУ «КПІ»

_____ Є.М. Письменний

«__» _____ 2016 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
НА НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

« Вплив орієнтації в просторі алюмінієвих теплових труб на граничні теплові потоки »

ПОГОДЖЕНО

Заст. зав. кафедри АЕС і ІТФ

_____ Туз В. О.

“__” _____ 2016 р.

Київ 2016

1. Підстава для проведення роботи

Договір про співпрацю

Термін виконання роботи:

Початок – 01.10.2016р.

Завершення – 30.05.2018р.

Підрозділ виконавець: Теплоенергетичний факультет, кафедра атомних електричних станцій та інженерної теплофізики.

Пріоритетний напрямок: Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці та промисловості.

2. Мета, призначення НДР та вихідні дані для проведення

Мета, призначення і актуальність роботи.

Мета даної роботи:

Метою даної роботи є вивчення впливу режимних (температурний рівень, термічний опір та ін.), геометричних факторів (діаметр внутрішнього простору, довжина зон нагріву та конденсації) алюмінієвих теплових труб.

Проведення теоретичного обґрунтування та експериментальних досліджень процесів теплообміну в таких умовах для отримання фундаментальних узагальнень для розрахунку оптимальних теплопередаючих пристроїв.

Призначення роботи:

Призначення роботи полягає у вивченні режимів роботи, теплопередаючих характеристик, ефективності роботи алюмінієвих теплових труб в залежності від їх положення в просторі.

Актуальність:

На даний час швидкі темпи розвитку різного електронного обладнання та апаратури ставлять необхідну задачу створення нових систем охолодження, які спроможні підтримувати необхідний температурний рівень електронного обладнання, із зменшенням його габаритів та зростанням теплових потоків. (створення пасивних систем терморегулювання на основі тт., тобто дослідження так званих тт. в режимі OFF)

3. Наукова цінність

Отримані на базі експериментального дослідження напівемпіричні рівняння для проведення розрахунків теплообміну та термічного опору алюмінієвих теплових труб можуть бути застосовані для поліпшення існуючих та створення нових конструкцій систем охолодження.

4. Основна науково-технічна ідея

Основна наукова ідея роботи полягає у вивченні режимів роботи та впливу положення в просторі на теплопередаючі характеристики алюмінієвих теплових труб, за умов їх реалізації в режимі «On/Off» роботи.

5. Вихідні дані

Дана робота є частиною комплексу попередніх досліджень процесів тепломасообміну в алюмінієвих теплових трубах для систем охолодження різного застосування з метою пошуку методів підвищення їх теплопередаючих характеристик.

Вона є продовженням досліджень по підвищенню інтенсивності теплообміну в зонах випаровування та конденсації та впливу положення в просторі алюмінієвих теплових труб з використанням наукових напрацювань лабораторії теплових труб в рамках розвитку напрямку по підвищенню ефективності систем охолодження потужних пристроїв.

6. Етапи виконання роботи

6.1 Проведення літературного огляду. Постановка цілі та задач дослідження.

6.2 Складання плану та методики проведення досліджень.

6.3 Розробка та створення експериментального стенду

6.4 Проведення експериментів по визначенню теплопередаючих здатностей алюмінієвих теплових труб.

6.5 Обробка результатів експериментальних даних та співставлення з результатами інших досліджень.

6.6. Оформлення пояснювальної записки.

7. Очікувані результати та порядок реалізації НДР

Робота відповідає світовому рівню у частині теоретичного та експериментального дослідження процесів теплообміну та отримання нових даних.

7.1 Очікувані результати.

В результаті виконання цієї роботи буде створено теоретичне обґрунтування доцільного використання капілярних алюмінієвих теплових труб у системах охолодження для космічної техніки, РЕА.

Досконале вивчення процесів тепломасопереносу у алюмінієвих теплових трубах дозволить створити методики розрахунків цілого спектру пристроїв вищезазначеного застосування..

В результаті проведення всіх випробувань будуть приведені рекомендації для створення сучасних систем охолодження з високими теплопередаючими характеристиками.

7.2 Передбачувані способи реалізації результатів НДР, рекомендації щодо застосування та впровадження результатів НДР.

Теоретичне та експериментальне дослідження процесів теплообміну при кипінні та конденсації в умовах капілярної кризи дасть змогу виявити нові закономірності, розкрити фізичні явища та застосувати ці дані для створення нових теплообмінних пристроїв з підвищеними теплопередаючими характеристиками.

Результати роботи будуть використовуватися в учбовому процесі як додаткові розділи у програмах курсів "Тепломасообмін", "Основи наукових досліджень" при підготовці студентів старших курсів теплоенергетичного факультету.

7.3 Можливі користувачі.

Користувачами результатів даної роботи можуть бути наукові, проектно-конструкторські та виробничі організації, що вирішують проблеми енергозбереження та створення теплоенергетичного обладнання різного призначення.

7.4 Умови, за яких будуть використовуватись результати роботи. Обґрунтування ефективності.

Результати роботи можуть бути передані зацікавленим підприємствам шляхом укладення контрактів з НТУУ «КПІ».

8. Матеріали, що надаються після закінчення роботи

8.1 Технічне завдання.

8.2 Пояснювальна записка.

8.3 Акт впровадження.

8.4 Креслення.

9. Вимоги щодо технічного захисту інформації

В роботі відсутні обмеження за пп. 11.1-11.5 Тимчасового Переліку 1992р., немає відомостей, опублікування яких заборонено відповідно до «Зводу відомостей, що становлять державну таємницю» (затвердженого наказом СБУ №440 від 12.05.2005р.) і «Переліку конфіденційної інформації МОН України» від 14.02.2002р. №5 ДСК, тому робота виконується у відкритому порядку.

10. Порядок розгляду і приймання НДР

Результати роботи розглядаються на засіданні кафедри АЕС і ІТФ НТУУ «КПІ».

Науковий керівник НДР
_____Шевель Є.В.
“__” _____ 2016р.

Студент групи ТФ-61м ТЕФ НТУУ «КПІ»
_____Розум Т.В..
“__” _____ 2016р.

Додаток В
Довідка про впровадження

ДОВІДКА

про впровадження

«02» травня 2018

Магістерська дисертація освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» студентки Розум Тетяни Володимирівни на тему «Вплив орієнтації в просторі алюмінієвих теплових труб» виконана на належному рівні, відповідає сучасним пріоритетним напрямкам розвитку теорії теплових труб. Отримані на базі експериментального дослідження можуть бути застосовані для поліпшення існуючих та створення нових конструкцій систем охолодження.

Результати роботи будуть використовуватися в учбовому процесі як додаткові розділи у програмах курсів "Тепломасообмін", "Основи наукових досліджень" при підготовці студентів старших курсів теплоенергетичного факультету.

Користувачами результатів даної роботи можуть бути наукові, проектно-конструкторські та виробничі організації, що вирішують проблеми енергозбереження та створення теплоенергетичного обладнання різного призначення.

Декан ТЕФ

д.т.н., професор

Є.М. Письменний

Доцент каф. АЕС та ІТФ

д.т.н.

В.Ю. Кравець

РЕЦЕНЗІЯ

на магістерську дисертацію
на здобуття ступеня магістра

виконану на тему: Вплив орієнтації в просторі алюмінієвих теплових труб на граничні теплові потоки

студенткою Розум Тетяною Володимирівною
(прізвище, ім'я, по батькові)

Магістерська дисертація Розум Тетяни Володимирівни присвячена визначенню впливу положення в просторі алюмінієвої теплової труби на її теплопередаючі характеристики.

Робота складається зі вступу, літературного огляду, розділу з експериментальними дослідженнями, стартапа проекту, охорони праці та списку використаної літератури.

В літературному огляді студентка точно та лаконічно описала ретроспективу розвитку досліджень в даному напрямі, недоліки і переваги своєї дипломної роботи, а також обґрунтувала чому саме ця тема є актуальною в даний час.

У розділі експериментальних досліджень чітко та ясно описана конструкція дослідної установки. Особливої уваги заслуговує те, що студенткою була розроблена методика проведення експерименту. При виконанні аналізу була розрахована відносна похибка, що є задовільною та припустимою для використання у подібних дослідженнях.

В розділі охорони праці вказані всі небезпечні фактори роботи в лабораторії та методи запобігання пожежі чи нещасного випадку.

Дана робота повністю відповідає тематиці лабораторії та виданому завданню магістерської роботи.

Об'єм роботи – 81 сторінок друкованого тексту, включаючи 21 рисунок та 10 таблиць. Використані 21 джерело. Виконані креслення на 2 аркушах та плакати з отриманими даними на 6 аркушах.

Рівень фахової підготовленості студентка до прийняття рішень відповідає кваліфікаційним вимогам магістра. В цілому робота виконана на належному рівні, а якість підготовки відповідає вимогам ОКХ.

Робота розміщена на сайті кафедри АЕС і ІТФ для оприлюднення і публічного ознайомлення з її змістом. В роботі не виявлено елементів плагіату та компіляції.

Враховуючи вищесказане, вважаю, що робота заслуговує оцінки «відмінно», а студентка Розум Тетяна Володимирівна - присвоєння кваліфікації «інженер-дослідник» за спеціальністю 144 Теплоенергетика спеціалізації Теплофізика.

Рецензент

старший науковий співробітник, к.т.н., с.н.с.

Недбайло О.М.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Теплоенергетичний факультет
Кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики

Реферативна доповідь
до магістерської дисертації

на тему:

“ Вплив орієнтації в просторі алюмінієвих теплових труб на граничні потоки ”

ТФ-61м.295.0004.071 МД

Виконала

студентка VI курсу, групи ТФ-61м
_____ *Розум Т.В.*

Керівник

_____ *доц. Шевель Є.В.*

Київ – 2018 року

Темою магістерської дисертації є вивчення впливу орієнтації в просторі алюмінієвих теплових труб на граничні теплові потоки.

В дисертації представлено експериментальне дослідження теплопередаючих характеристик алюмінієвих теплових труб в залежності від її кута нахилу, а також порівняння з розрахунковими даними. Використання ТТ в теплообмінних апаратах промислового та енергетичного призначення сьогодні є перспективним напрямком.

На даний час швидкі темпи розвитку науки та техніки ставлять задачу створення нових систем охолодження та передачі теплоти, які спроможні підтримувати необхідний температурний рівень та виконувати якісну роботу як елемент системи термостабілізації. Алюмінієві теплові труби (ТТ) є одними з ефективних пристроїв для передачі теплової енергії. На теплопередаючі характеристики впливають багато факторів. В той же час впливає положення в просторі.

Кут нахилу – це один із основних факторів, що впливають на процеси теплообміну в ТТ, зокрема в зоні конденсації, і, як результат, на термічний опір. Від кута нахилу залежить насамперед інтенсивність подачі рідини в зону випаровування із зони конденсації.

В якості теплоносіїв для теплових труб і термосифонів в принципі можна прийняти будь-які хімічні речовини й сполучення, які в заданому діапазоні робочих температур мають рідку и парову фази. Виходячи з діапазону робочих температур і простоти виготовлення, в якості корпусів ТТ був обраний алюміній і теплоносій пентан.

Фізичні процеси при роботі теплових труб вимагають ряд обмежень на їх робочі параметри. Визначальним для теплової труби є те обмеження в результаті якого при тій чи іншій температурі максимально можлива передаюча потужність має найменше значення. Значення обмежень звичайно залежать від різноманітних властивостей теплоносія, структури гноту та геометрією самої теплової труби.

Обмеження теплового потоку теплової труби регулюються наступними факторами:

б) В'язкісна межа. При низькій температурі різниця тиску пари між випарником та конденсатором може бути недостатньою для подолання в'язких сил.

7) Звукова межа. Це відбувається, коли швидкість пари досягає звукової швидкості на випарнику, і будь-яке збільшення різниці тиску не прискорить потік.

8) Межа винесення. При високих швидкостях пара, краплі рідини відриваються від ґноту і захоплюються парою. Краплі надходять у конденсатор з парою, що призводить до висихання на випарнику. Це досягається, коли капілярний тиск занадто низький для транспортування достатньої кількості рідини до випарника з конденсатора.

9) Межа кипіння. Коли радіальний тепловий потік в тепловій трубі змушує рідину в ґноті кипіти і випаровуватись, це призводить до висихання самої теплової труби.

10) Капілярне обмеження. При певній, граничній величині теплового потоку, який підводиться до зони випаровування ТТ, величина перепаду тиску у капілярній структурі стає недостатньою для повернення необхідної кількості конденсату до зони випаровування.

Дослідним зразком була тепла труба із трикутним профілем канавки. З метою експериментального дослідження впливу орієнтації в просторі була створена установка та принципова схема. Схема складалась із систем охолодження, нагрівання і системи збору даних.

Підвід теплового потоку до електронагрівача виконувалось за допомогою лабораторного автотрансформатора (ЛАТР). Щоб зменшити вплив коливань напруги мережі на експеримент, перед ЛАТРом був встановлений стабілізатор напруги (СН). Для зменшення витрати теплоти в навколишнє середовище, дана експериментальна ділянка теплоізолювалась за допомогою базальтового волокна в два шари.

Ця теплоізоляція була обрана через те, що вона не залежить від температури, а також через малий коефіцієнт теплопровідності

Відвід теплоти здійснювався за допомогою конденсатора, який кріпився за допомогою накладки.

Охолодження відбувалось за допомогою проточної води. Охолоджуюча вода подавалась з напірного баку, який використовувався для того, щоб нівелювати

стрибки тиску у водопровідній мережі, які б впливали на точність вимірювання витрати. Витрата води фіксувалась за допомогою тарованого витратоміру.

Показання термопар в режимі реального часу виводилися на екран монітору персонального комп'ютера (ПК) через аналогово-цифровий перетворювач (АЦП). Такий пристрій дозволяв безперервно впродовж усього експерименту спостерігати зміни температурного поля ТТ. Температурне поле ТТ вимірювалось термопарами. Мідь-константові термопари на вході та на виході з конденсатора вимірювали температуру охолоджувальної рідини.

Проведення експерименту. Спочатку заповняли напірний бак водою. Після цього відкривали кран наповнення та подачі напірного баку з охолоджуючою водою та встановити необхідну для експерименту витрату.

Наступним кроком було ввімкнення ЛАТРа та ПК. На ПК запускалось програмне забезпечення програми за допомогою яких фіксуються покази термопар. Задавався початковий тепловий потік і чекали виходу показань термопар на стаціонарний режим, який характеризується відносно стаціонарним режимом температур. Після чого більшували значення підведеної потужності.

Далі знову чекали вихід на стаціонарний режим і до тих пір поки не досягали кризи. Отримані показання термопар експортували в Excel з метою подальшої обробки. Провівши серію дослідів змінювався кут нахилу і дії повторювались.

Знаючи витрату, теплоємність води C_p та різницю температур між входом та виходом конденсатора для заданого діапазону температур, розраховується відведений тепловий потік:

$$Q_{\text{від}} = G \cdot C_p \cdot (t_{\text{вх}} - t_{\text{вих}})$$

Знаючи температури в зонах нагріву та конденсації та величину теплового потоку, можна розрахувати термічний опір, за формулою:

$$R_{\text{ТТ}} = \frac{\bar{t}_{\text{ЗН}} - \bar{t}_{\text{ЗК}}}{Q_{\text{від}}}$$

де $\bar{t}_{\text{ЗН}}$ та $\bar{t}_{\text{ЗК}}$ – середні температури в зонах нагріву та конденсації, відповідно.

$$\bar{t}_{\text{ЗН}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 t_i,$$

$$\bar{t}_{\text{ЗК}} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 t_j,$$

де i – номери термопар в зоні нагріву, j – номери термопар в зоні конденсації.

В результаті експериментальних досліджень алюмінієвої ТТ з пентаном було отримано залежності термічного опору ТТ від відведеного теплового потоку при різних температурах насичення та орієнтації в просторі.

На плакаті приведено залежність термічного опору ТТ від кута нахилу (з різною витратою охолоджуючої води) та теплового потоку, що передається.

Як видно з вищеприведеного графіка, для кута нахилу теплової труби в один градус, термічний опір був найбільшим, а переданий тепловий потік – найменшим. Для кута нахилу, що дорівнює п'ять градусів, досягнення обмеження теплового потоку, що передається було затяжним, але з меншим термічним опором та більшим максимальним тепловим потоком.

Тобто термічний опір спадає при збільшенні кута нахилу теплової труби, а тепловий потік – зростає. Це відбувається за рахунок дії гравітаційних сил, що інтенсифікує процес повернення теплоносія до зони нагріву. При зміні витрати охолоджуючої води характеристика повторюється. При збільшенні витрати охолоджуючої води та зміні кута нахилу ТТ на більший – величина термічного опір спадає, а тепловий потік, що передається зростає. Отже при інтенсифікації відводу теплоти загальні характеристики ТТ покращуються.

На плакаті приведені залежності граничного теплового потоку від температур насичення для різних кутів нахилу.

Як видно з першого графіка при збільшені температури насичення максимальний тепловий потік зростає. На другому графіку показано, що при рості температури насичення максимальний тепловий потік спадає.

Це пояснюється тим, що при проведенні експериментальних досліджень з різними кутами нахилу, в цьому випадку 5 і 7 градусів було виявлено, а точніше досягнуто два обмеження теплового потоку теплової труби, а саме межа, яка обумовлена зливом рідини від поверхні та межа кипіння.

Також було отримано залежність теплового потоку від кута нахилу ТТ. При постійному значенні температури насичення ТТ, що дорівнює 57°C збільшення кута нахилу відносно горизонту збільшує тепловий потік, що передається.

Для підтвердження та верифікації отриманих результатів, був зроблений розрахунок за відомими з літератури залежностями, граничних значень теплового потоку для алюмінієвої теплової труби з трикутними канавками та теплоносієм пентан. При виконанні розрахунків були використані залежності, які представлені на плакаті.

На графіку показано робочу область для алюмінієвої ТТ з трикутним профілем канавки та теплоносієм пентаном. Ця область обмежена двома межами – межа винесення та межа кипіння.

На дану область було нанесено отримані експериментальні точки. Як видно з графіку, під час проведення експерименту було досягнуто обох меж.

Загальний характер даних повторює характер розрахункових залежностей, проте чітко видно зміщення перетинання кривих. Це може бути пояснено похибкою експерименту та похибкою самих розрахункових залежностей.

На основі аналізу літератури та проведених дослідів алюмінієвих ТТ був створений експериментальний стенд і вдосконалена методика збору та обробки інформації, можна зробити наступні висновки:

5. був проведений аналіз літератури, який показав незначну кількість робіт присвячених даному питанню, тому потребує подальших досліджень;

6. з цією метою була створена експериментальна установка та розроблена методика проведення досліджень;

7. отримані експериментальні дані з впливу кута нахилу, температури насичення на максимальний тепловий потік та термічний опір ТТ.

8. Для підтвердження та верифікації отриманих даних, був зроблений розрахунок зі відомими залежностями з літератури, граничних значень теплового потоку для алюмінієвої ТТ. Загальних характер експериментальних даних повторює характер розрахункових залежностей.